

**ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN LOS
PROGRAMAS SÍSMICOS DE EXPLORACIÓN COSTA AFUERA**

**JEAN CARLOS MOTTA OSMA
LUZ DARY RODRÍGUEZ MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2018

**ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN LOS
PROGRAMAS SÍSMICOS DE EXPLORACIÓN COSTA AFUERA**

**JEAN CARLOS MOTTA OSMA
LUZ DARY RODRÍGUEZ MORENO**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero de Petróleos**

Director

**Ing. HARVING DÍAZ CONSUEGRA
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

A Dios creador de vida, por permitirme culminar un sueño y plan de vida visualizado en mi juventud. Me has guiado para tomar las mejores decisiones y me has brindado las mejores personas para trazar mejor mi rumbo.

A mi Papá Carlos por ser ese ejemplo de responsabilidad, entereza, disciplina, constancia y gallardía.

A mi Mamá Tulita por su infinito amor hacia nosotros, entrega constante, comprensión, disciplina y lucha incansable

A mis hermanitos Yeyo y Chonas, por su amor y cariño; son mi ilusión, mi gran orgullo

A la nonita Alicia por ser mi segunda mamá, por estar en mi vida académica siempre al tanto de mi Bienestar, alegría y tranquilidad

A mi pito Marcos y Rochy por su asesoramiento, amor y visión de mundo.

A mis Familiares por su gran unión y amor; son mi mejor espejo de un futuro próspero y exitoso.

A mi Julii B querida por su gran comprensión, amor y apoyo; estas en los momentos que incluso no me conocía.

A mis grandes amigos de Infancia Eric Yair y Carlos Andrés, siempre han estado presentes brindándome su apoyo, respaldo y empatía incondicional.

A mis grandes amigos, Yess, la mandamás del grupo, Mellito, mi hermano costeño, Oscar, el bro todo poderoso, Fabián, el poeta enamorado, Edna y Cindy, las inseparables, Suarez el político en potencia, Alejo, el sabelotodo, Cristian y Pipe, el ejemplo de parranda y jolgorio, Fidel, el ejemplo de risa y optimismo, Daniel, el líder y guía de todos sus pastores, y cada uno de esos grandes seres que asesoraron y cambiaron mi forma de ver las cosas, se les lleva en el lugar de los bonitos sentimientos

A la gran Familia de Trabajo de Secretaria General y Admisiones UIS por hacerme parte su equipo y brindarme los mejores espacios de esparcimiento y diversión al laborar.

A mi Fren Zamara por cada una de las picardías y complicidades

A mi colega y compañera de investigación Luz Dary por su confianza, paciencia y ayuda mancomunada en este proyecto.

Y, a todos y cada uno de personas, circunstancias y ámbitos que permitieron la culminación de este proyecto

Con Cariño,

Jean Carlos Motta Osma

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo que es la culminación de esta etapa profesional a Dios por darme la vida y salud para haberme permitido recorrer este ciclo de mi vida de una manera exitosa. Al amor de mi vida, mi madre Luz Moreno por ser mi pilar, mi apoyo, mi guía por el esfuerzo que realizo para lograr juntas el sueño de ser una profesionista. A mis tíos Elizabeth Moreno y Bernardo Moreno quienes siempre han estado hay para apoyarme en este largo camino y brindarme su apoyo cuando lo he necesitado.

A ti Andrés Mauricio Palomino, por haber llegado al inicio de este sueño y haber contribuido a su realización.

A mi colega y compañero de tesis Jean Carlo Motta Osma, gracias por la paciencia y colaboración en este trabajo de investigación.

A cada lector y persona de que una y otra forma contribuyó a la realización es este proyecto, que más que un trabajo en la culminación de un sueño, infinitas gracias,

Luz Dary Rodríguez Moreno

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primera instancia a Dios por darnos la fuerza y valor para culminar esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros Familiares y Amigos por su compañía, comprensión y cariño.

A nuestro Director de tesis, el Ingeniero Harving Díaz Consuegra por el apoyo, confianza, disposición, orientación y acompañamiento continuo en el planteamiento, desarrollo y culminación de éste trabajo de Investigación.

A la Universidad Industrial de Santander por ser nuestra casa de estudios y brindarnos profesionales altamente calificados, áreas de esparcimiento para nuestro desarrollo Integral en el transcurso de nuestra vida académica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....	23
1.1. ANTECEDENTES DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA COSTA AFUERA EN COLOMBIA.....	23
1.2. ADQUISICIÓN DE SÍSMICA EXPLORATORIA COSTA AFUERA.....	26
1.3. SÍSMICA 2D Y 3D	28
1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS SÍSMICOS	29
1.4.1 Cable sísmico.....	29
1.4.2. Hidrófonos	30
1.4.3. Cámaras de aire	31
1.5. POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES	33
1.5.1. Frecuencia	33
1.5.2. Longitud de onda.....	33
1.5.3. Intensidad.....	35
1.5.4. Duración.....	35
2. SÍSMICA EXPLORATORIA COSTA AFUERA CON BASE EN INFORMACIÓN TÉCNICA Y CIENTÍFICA INTERNACIONAL	36
2.1. METODOLOGÍA	36
2.1.1. Búsqueda de Información.....	36
2.1.2. Análisis de Información	40
2.1.3. Criterios de selección de Información.....	41

2.2. INFORME Y ESTUDIOS DE IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS GENERADOS POR PROGRAMAS SÍSMICOS COSTA AFUERA	42
2.2.1. CASO I: Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera - Bloque Centro Golfo San Jorge y plan de contingencia. Argentina.....	42
2.2.2. Caso II: Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional del Golfo de Yucatán. México, 9 de junio al 13 de julio de 2004.....	43
2.2.3. CASO III: Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto levantamiento sísmico 2D Y 3D regional de la franca costera del Perú Tumbes - Tacna.	47
2.2.4. CASO IV: Campaña sísmica 2D en áreas libres del Mediterráneo Noroccidental, Mar Balear.....	48
2.2.5. CASO V: Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales PETRO TECH-Perú.....	48
2.2.6 CASO VI: Estudio de impacto ambiental: proyecto de “Levantamiento sísmico 3D en el lote Z-1 Región de Tumbes y Plan de Manejo Ambiental”...	49
2.2.7 CASO VII: Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD, Y 3D y perforación exploratoria en el lote Z-46, Perú y Plan de manejo ambiental.....	51
2.2.8. CASO VIII: Impactos de las prospecciones petrolíferas en aguas españolas, noviembre de 2005.	52
2.2.9. INFORME I: Informe Ambiental de Proyecto Exploración Sísmica Offshore y Onshore Restinga Alí 3D, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.	53
2.3. LEGISLACION PARA LA PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN LA EJECUCIÓN DE UNA CAMPAÑA SÍSMICA COSTA AFUERA.....	53

3. IDENTIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS GENERADOS POR LA ADQUISICIÓN DE SÍSMICA COSTA AFUERA	59
3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS IDENTIFICADOS EN LOS ESTUDIOS DE CASOS.	60
3.1.1. Efectos crónicos:	60
3.1.2. Efectos físicos	61
3.1.3. Efectos en el comportamiento	63
3.1.4. Efectos perceptivos	64
3.1.5. Efectos Indirectos	65
3.2. IDENTIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE IMPACTOS SIGNIFICATIVOS Y ESPECIES EN LOS CASOS DE ESTUDIO.	65
3.2.1. Identificaciones de especies en las áreas de estudio y clasificación taxonómica.	66
3.2.2. Tipificación de especies por grupos taxonómicos e impactos significativos.	66
3.3. ANÁLISIS DE IMPACTOS	69
3.3.1. Análisis por intensidad de la fuente sísmica	72
3.3.2. Análisis por número de especies que habitan el área afectada	72
3.3.3. Análisis por tipificación de impactos	73
3.3.4. Análisis por grupo taxonómico de especies	73
3.3.5. Análisis individual de impacto.....	74
3.4. IDENTIFICACION DE ESPECIES EN AGUAS MARÍTIMAS COLOMBIANAS.	76
3.4.1. Herramienta utilizada en la identificación de la fauna marina en aguas colombianas.	76

3.4.2. Realización de la búsqueda en el Visor Geográfico	76
3.4.3. Características del Visor Geográfico utilizadas por los autores.....	77
4. EVALUACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS	81
4.1. ESCALA DE VALORES DE LOS PARÁMETROS A EVALUAR	81
4.1.1. Duración	82
4.1.2. Profundidad	83
4.1.3. Extensión.....	84
4.1.4. Reversibilidad	85
4.1.5. Intensidad.....	88
4.2. SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	90
4.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS	90
4.4. SÍSTESIS DE LOS PARÁMETROS BASE DE EVALUACIÓN	92
4.5. MATRIZ DE EVALUACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS ...	93
4.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	95
4.6.1. Análisis del parámetro de Duración.....	95
4.6.2. Análisis del parámetro de Profundidad.....	96
4.6.3. Análisis del parámetro de Extensión	97
4.6.4. Análisis del parámetro de Reversibilidad.....	98
4.6.5. Análisis del parámetro de Intensidad.....	99
4.6.6. Análisis de la importancia Ambiental	101
5. RECOMENDACIONES PARA MITIGAR, PREVENIR Y CORREGIR IMPACTOS SIGNIFICATIVOS EN LA FAUNA MARINA.....	102
5.1. RECOMENDACIONES GENERALES PARA PREVENIR Y MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO SOBRE LA FAUNA MARINA	103

5.2. ACCIONES GENERALES PARA CORREGIR EL IMPACTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO SOBRE LA FAUNA MARINA	109
5.3. ACCIONES GENERALES PARA CORREGIR EL IMPACTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO SOBRE LA FAUNA MARINA EN ACTIVIDADES TECNICAS PROPIAS DE LA OPERACIÓN	111
6. CONCLUSIONES	112
7. RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	116

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Levantamiento sísmico marino	27
Figura 2 - Sísmica 2D	28
Figura 3 - Sísmica 3D	29
Figura 4 - Barco científico Remolcando Cable Sísmico	30
Figura 5 - Cámara de aire	31
Figura 6- Cámara llena de Aire Comprimido.....	32
Figura 7 - La Onda.....	34
Figura 8 - Zonas de prospección sísmicas 3D de PAE en Golfo de San Jorge.	42
Figura 9 -. Zonas de prospección sísmica en el cráter Chicxulub de la Península de Yucatán en el golfo de México.	44
Figura 10 - Diseño de tendido de cables prospección sísmica área del Perú Tumbes-Tacna.....	47
Figura 11 - Localización del bloque Z1 en el mar territorial peruano.	49
Figura 12 - Localización de las Zonas A,B,C dentro del bloque Z-46	52
Figura 13 - Matriz de Identificación y Tipificación General.....	68
Figura 14 - Ubicación de especies identificadas en aguas marítimas colombianas.	78
Figura 15 - Visor geográfico SIAM-opción capa base.....	79
Figura 16 - Visor geográfico SIAM-opción capa base mapa de Colombia.....	79
Figura 17 - Tabla de adquisición sísmica en Colombia partir de la Ronda 2010 hasta Septiembre de 2017	80
Figura 18 - Matriz de Evaluación y Categorización General	93
Figura 19 - Matriz de Evaluación y Categorización de la Reversibilidad.....	94

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1 - Análisis por intensidad de la fuente sísmica.....	72
Gráfica 2 - Análisis por número de especies que habitan el área afectada.	72
Gráfica 3 - Análisis por tipificación de impactos.....	73
Gráfica 4 - Análisis por grupo taxonómico de especies	74
Gráfica 5 - Análisis individual de impactos.....	75
Gráfica 6 - Evaluación de la Duración.....	95
Gráfica 7 - Porcentaje Evaluación de la Duración.....	95
Gráfica 8 - Evaluación de la Profundidad.....	96
Gráfica 9 - Evaluación de la Extensión	97
Gráfica 10 - Evaluación de la Reversibilidad	98
Gráfica 11 - Evaluación de la Reversibilidad	98
Gráfica 12 - Evaluación de la Intensidad	99
Gráfica 13 - Porcentaje Evaluación de la afectación de acuerdo a la Intensidad	100
Gráfica 14 - Porcentaje Evaluación de la Importancia Ambiental	101

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1- Características de la pistolas de aire empleadas en el programa sísmico del Golfo de san Jorge.....	43
Tabla 2 - Características de la pistolas de aire empleadas en el programa sísmico de la península de Yucatán en el Golfo de México.	45
Tabla 3 - Longitud y dirección fase I estudio de adquisición sísmica, Península de Yucatán.....	45
Tabla 4 - Generalidades técnicas del proyecto de adquisición sísmica en el bloque Z1.....	50
Tabla 5 - Generalidades técnicas del arreglo sísmico	50
Tabla 6- Espaciamiento entre las líneas sísmicas para cada tipo de sísmica corrida en el bloque Z-46.	51
Tabla 7- Normatividad de Argentina para Estudios de Impacto Ambiental	54
Tabla 8 – Normatividad de Perú para Estudios de Impacto Ambiental	55
Tabla 9 - Normatividad de Colombia para Estudios de Impacto Ambiental	57
Tabla 10- Síntesis de la Normatividad para EIA de los países Casos de Estudio	58
Tabla 11 - Efectos crónicos Identificados y su soporte Técnico.....	60
Tabla 12 - Efectos Físicos identificados y su soporte Técnico.....	61
Tabla 13 - Efectos de Comportamiento Identificados y su soporte Técnico	63
Tabla 14 - Efectos Perceptivos identificados y su soporte Técnico	64
Tabla 15 Efectos indirectos.....	65
Tabla 16- Elementos de la data de los casos de estudio de prospecciones sísmicas costa afuera.	71
Tabla 17 - Parámetros generales de evaluación.....	82
Tabla 18 - Parámetros de Evaluación de Duración.....	82
Tabla 19 - Parámetros de Evaluación de Profundidad.....	83

Tabla 20 - Parámetros de Evaluación de Extensión	84
Tabla 21 – Parámetros de Evaluación de Reversibilidad.....	85
Tabla 22 - Determinación de la Reversibilidad	86
Tabla 23 - Determinación de la Reversibilidad en los Impactos Identificados	87
Tabla 24 - Mínima Tolerancia de Audición por grupo de especies y Valores de Evaluación	89
Tabla 25 - Calificadores establecidos para la Reversibilidad.....	89
Tabla 26 - Categorización de los Impactos Ambientales	90
Tabla 27 - Síntesis de los parámetros Base de Evaluación.....	92
Tabla 28 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación	103
Tabla 29 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación	104
Tabla 30 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación	105
Tabla 31 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación	106
Tabla 32 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación	107
Tabla 34 Recomendaciones para Prevención y Mitigación	108
Tabla 33 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación	108
Tabla 35 - Recomendaciones para Corregir el Impacto.....	109
Tabla 36 - Recomendaciones para Corregir el Impacto.....	110
Tabla 37 - Acciones Generales ocurridas durante la Adquisición Sísmica	111

ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Matriz de Identificación y Tipificación de los impactos ambientales significativos.

Anexo B. Matriz de Evaluación y Categorización de los impactos ambientales significativos.

Anexo C. Sísmica corrida en Colombia Ronda ANH 2010 a septiembre de 2017, Especies identificadas de los casos de estudio y Taxonomía general.

Anexo D. Radicado ANLA 2017025210-2-001, abril 21 de 2017.

Anexo E. Radicado ANLA 2017027805-2-001, abril 28 de 2017.

Anexo F. Radicado ANLA 2017028062-2-001, abril 28 de 2017.

Anexo G. Radicado ANLA 2017028062-2-001ANX, abril 28 de 2017

Anexo H. Radicado ANLA 2017028097-2-001, mayo 3 de 2017.

Anexo I. Radicado ANLA 2017028135-2-001, mayo 5 de 2017.

Anexo J. Radicado ANLA 2017031224-2-001, mayo 9 de 2017.

Anexo K. Radicado ANLA 2017030671-2-001, mayo 10 de 2017.

Anexo L. Radicado DIMAR 29201702760, mayo 12 de 2017.

Anexo M. Radicado ANLA 2017034392-2-001, mayo 25 de 2017.

Anexo N. Radicado MINAMBIENTE E2-2017-014011, junio 2 de 2017.71

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN LOS PROGRAMAS SÍSMICOS DE EXPLORACIÓN COSTA AFUERA*

AUTORES: JEAN CARLOS MOTTA OSMA**
LUZ DARY RODRÍGUEZ MORENO

PALABRAS CLAVES: sísmica costa afuera, impactos ambientales, fauna marina, recomendaciones de buenas prácticas.

DESCRIPCIÓN

Una las técnicas utilizadas para determinar el potencial de hidrocarburos en aguas marinas es la sísmica exploratoria. Para realizar esta adquisición sísmica, se generan ondas acústicas artificiales a través de cañones de aire comprimido. Estas ondas se propagan por medio de la columna de agua, penetran el subsuelo, y luego se reflejan a la superficie donde son registradas e interpretadas en una embarcación científica. Los datos sísmicos, permiten identificar la localización de posibles reservas de hidrocarburos en una formación litológica. A su vez, estos levantamientos sísmicos pueden generar impactos significativos en la fauna marina, producto de las ondas acústicas emitidas por las pistolas de aire comprimido.

En este trabajo de investigación se realiza una revisión bibliográfica a partir de estudios, casos e información técnica y científica internacional, debido a que según la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, en Colombia no hay estudios de impacto ambiental, ni planes de manejo ambiental para los proyectos sísmicos costa afuera en profundidades mayores y/o menores a 200 metros; aplicando criterios de selección de la información establecidos por los autores, se realiza una identificación y tipificación con el fin de evaluar y categorizar los impactos significativos de los levantamientos sísmicos. Todos los efectos identificados están debidamente soportados; además, se presentan recomendaciones de mitigación, prevención y corrección para la realización de buenas prácticas.

Para contextualizar la investigación en Colombia se complementa con un objetivo adicional, en el cual por medio de una herramienta visual proporcionada por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, y su Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM, se localizan las especies identificadas en las diferentes cuencas y bloques petroleros relacionados; igualmente, se presenta el registro de la sísmica corrida a partir de la Ronda ANH 2010 a septiembre de 2017 costa afuera en Colombia.

* Tesis de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Harving Díaz Consuegra, Ingeniero de Petróleos.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF SIGNIFICANT ENVIRONMENTAL IMPACTS ON SEISMIC PROGRAMS OF EXPLORATION OFFSHORE

AUTHORS: JEAN CARLOS MOTTA OSMA**
LUZ DARY RODRÍGUEZ MORENO

KEYWORDS: seismic offshore, environmental impacts, marine fauna, recommendations of good practices.

DESCRIPTION

One of the techniques used to determine the potential of hydrocarbons in marine waters is exploratory seismic. To carry out this seismic acquisition, artificial acoustic waves are generated through compressed air cannons. These waves propagate through the water column, penetrate the subsoil, and then reflect to the surface where they are recorded and interpreted in a scientific vessel. The seismic data allow to identify the location of possible hydrocarbon reserves in a lithological formation. In turn, these seismic surveys can generate significant impacts on marine fauna, as a result of acoustic waves emitted by compressed air guns.

In this research work a bibliographic review is made from studies, cases and international scientific and technical information, because according to the National Authority of Environmental Licenses - ANLA, in Colombia there are no environmental impact studies or environmental management plans for offshore seismic projects in depths greater than and / or less than 200 meters; applying criteria for the selection of information established by the authors, an identification and typing is carried out in order to evaluate and categorize the significant impacts of seismic surveys. All the identified effects are duly supported; In addition, mitigation, prevention and correction recommendations are presented for the realization of good practices.

To contextualize research in Colombia is complemented by an additional objective, in which through a visual tool provided by the Institute of Marine and Coastal Research - INVEMAR, and its Marine Environmental Information System - SIAM, the species identified in the different basins and related oil blocks; also, the record of the seismic run is presented from the 2010 ANH Round to September 2017 offshore in Colombia.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physicochemical Engineering. Petroleum Engineering School. Director: Harving Díaz Consuegra, Petroleum Engineer.

INTRODUCCIÓN

El modelo económico predominante actualmente en el mundo establece la necesidad de proteger los recursos naturales. Estos dejaron de ser un factor de dominación del hombre y pasaron a convertirse en un patrimonio de la humanidad. “Ya la naturaleza no es vista como una realidad externa a ser explotada por cualquier medio, como es la concepción predominante de la modernidad; ahora la naturaleza es vista como una fuente de valor en sí misma¹”, lo cual ha motivado a los entes gubernamentales y sociedad en general a concebir diversos mecanismos de control y verificación en los procesos.

La actividad petrolera constituye uno de los principales aportes a la economía colombiana, genera el 31% de los ingresos totales y 30% de la inversión extranjera según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. Además, es una de las fuentes destacadas de renta para las regiones por el pago de regalías de explotación de hidrocarburos e inversión social o por el empleo directo e indirecto generando un motor de crecimiento y garantizando una mejor calidad de vida poblacional. No obstante, recientemente esta actividad se ha visto enmarcada en un declive significativo, debido al impedimento de comunidades que habitan las regiones aledañas, causando bloqueos operacionales, además de divulgaciones en los medios de comunicación en los cuales hacen hincapié en el impacto ambiental ineludible de la actividad, lo que conlleva a un obstáculo en grandes campañas de exploración, explotación y transporte de combustible fósil.

La exploración sísmica costa afuera compone uno de los principales ejes de la industria de los hidrocarburos, puesto que los avances en tecnología de imágenes sísmicas y el procesamiento de datos durante la última década ha mejorado la capacidad de localizar petróleo y gas natural en alta mar. Un ejemplo de ello es que en 1987 se estimó en el Golfo de México 9.570 millones de barriles de petróleo y

¹ ESCOBAR, Arturo. El desarrollo sostenible: diálogo de discursos. En: revista foro N° 23, Bogotá, abril 23 de 1994, Página 99.

con la más reciente adquisición de sísmica y perforación exploratoria adicional, la valoración en el 2011 subió a 48.400 millones de barriles de petróleo, un incremento aproximadamente de 5 veces el valor inicial, según el American Petroleum Institute - API, conduciendo al hallazgo de mayores recursos y determinando el potencial energético en el subsuelo marino, ampliando los rangos de interés al explorar zonas anteriormente no sondeadas y añadir nuevas reservas probables y probadas en una economía nacional y compañías involucradas; otro ejemplo fue el relevante acierto de la existencia de combustible fósil en el Caribe Colombiano, ratificado en los pozos exploratorios Kronos-1 en agosto de 2015, Purple Angel en febrero de 2017 y Gorgon-1 en mayo de 2017, los cuales son operados por contrato de asociación entre la estatal Petrolera Colombiana Ecopetrol S.A. y Anadarko Colombia Company, según la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH².

Sin embargo, toda intervención del hombre en un ecosistema generará una alteración y la Industria Petrolera está encaminada en producir el menor impacto ambiental posible. Por ello, la presente investigación busca ahondar en el procedimiento llevado a cabo en los programas de exploración sísmica costa afuera, a partir de estudios e información técnica y científica Internacional puesto que en Colombia según la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA “no hay estudios de impacto ambiental, ni planes de manejo ambiental para los proyectos sísmicos costa afuera en profundidades mayores y/o menores a 200 metros ³”; a partir de las fuentes consultadas se identifica y tipifica los impactos ambientales significativos, seguido de una evaluación y categorización por medio de parámetros generales y finalmente, presentar recomendaciones de buenas prácticas con el fin de prevenir, corregir o mitigar el impacto ambiental posible desencadenado por la actividad exploratoria.

² AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. ANH en Datos, Cifras y Estadísticas. [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en 12 noviembre de 2017). Disponible en: <http://www.anh.gov.co/ANH-en-Datos/Paginas/Cifras-y-Estad%C3%ADsticas.aspx>.

³ AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES – ANLA. Radicado ANLA 2017034392-2-001. Bogotá D.C. mayo 25 de 2017. 2 Págs.

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA COSTA AFUERA EN COLOMBIA.

Los métodos de prospección sísmica costa afuera permiten predecir acumulaciones de hidrocarburos en una formación litológica en particular. En general, “a partir de la emisión de ondas acústicas, desde un buque en movimiento, viajan a través de la superficie del agua hasta el fondo marino; estas ondas son reflejadas hasta la superficie del mar donde el mismo buque las capta por medio de hidrófonos, registra e interpreta obteniendo datos acerca de las discontinuidades del fondo y subsuelo marino, determinando la existencia de combustible fósil”⁴.

En Colombia, la exploración sísmica costa afuera se inició en la década de los años 70, conllevando al descubrimiento de Chuchupa y Ballenas en 1972 y Riohacha en 1975, lo cual generó un escenario de estabilidad porque permitió cubrir la demanda de gas de la época para el país. Pero, posterior a ello no se adelantaron acciones sino hasta el 2004, con la concesión del bloque Tayrona, fruto de la creación de la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH en el 2003 y, solo hasta el 2010 cambia el panorama de asignación de áreas costa afuera, cuyo objetivo fue incrementar la búsqueda de yacimientos o campos petroleros en éstas zonas, según Orlando Velandia Sepúlveda⁵, presidente de la ANH. En la actualidad se cuenta con veintiún⁶ (21) contratos costa afuera, nueve (9) se encuentran en fase de evaluación técnica y doce (12) son contratos de exploración y producción, distribuidos entre las operadoras Anadarko Colombia Company, Shell Exploration And Production,

⁴ ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. Impactos de las prospecciones petrolíferas en Aguas Españolas. España. Noviembre de 2005, 59 Págs.

⁵ COLOMBIA GENERA 2017. PANEL: OFFSHORE, UN MAR DE OPORTUNIDADES. Febrero 23 de 2017. Cartagena, Colombia. Velandia Sepúlveda, Orlando. Presidente Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH.

⁶ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS – ANH. Ronda 2014 [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en abril 5 de 2017) Disponible en: <http://ronda2014.anh.gov.co/rondacolombia2014/>

Ecopetrol S.A., Petrobras, ONGC Videsh Limited y Repsol Exploración Colombia S.A.

Cabe destacar que según Velandia Sepúlveda, no hay ninguna cuenca frontera en el mundo que haya recibido tantas inversiones en los años 2015 y 2016 como ocurrió en la cuenca del Mar Caribe Colombiano, pese al bajo⁷ precio del barril de petróleo para la época, con un total de 260.819,53⁸ kilómetros de sísmica equivalente.

Los diversos programas exploratorios costa afuera permitieron evidenciar el potencial hidrocarburífero del Caribe Colombiano, corroborado en los pozos exploratorios Kronos-1 en agosto de 2015, Purple Angel en febrero de 2017 y Gorgon-1 en mayo de 2017, en donde se estiman reservas promisorias de gas para el país, según la ANH.

En Colombia, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, en el Decreto 2041⁹ del 15 de octubre de 2014, artículo 8, “La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, otorgará o negará de manera privativa la licencia ambiental para los siguientes proyectos, obras o actividades: 1. En el sector de los hidrocarburos, inciso a), Las actividades de exploración sísmica que requieran la construcción de vías para el tránsito vehicular y las actividades de exploración sísmica en las áreas marinas del territorio nacional cuando se realicen a profundidades menores a 200 metros”.

Dado que la industria petrolera ha evolucionado, se tiene mayor conciencia ambiental y se ha enfocado en la importancia de reducir los impactos ambientales propios de la actividad, por consiguiente se plantea en primera instancia desarrollar un análisis de los programas sísmicos exploratorios costa afuera, a partir de los

⁷PRECIO DEL PETROLEO. [En línea]. (Recuperado en agosto 16 de 2017). Disponible en:<https://www.preciopetroleo.net/>

⁸ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. ANH en Datos, Cifras y Estadísticas. [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en 12 noviembre de 2017). Disponible en: <http://www.anh.gov.co/ANH-en-Datos/Paginas/Cifras-y-Estad%C3%ADsticas.aspx>.

⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2041. (15 de octubre de 2014). Por el cual se reglamenta el título VII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá D.C., 2014, p.1-51.

planes de manejo ambiental y estudios de impacto ambiental, presentados por la compañías operadoras, motivo por el cual se solicita dicha información al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, recibiendo respuesta de la profesional Martha L. Bastidas S¹⁰., jefe de la línea oceanográfica y clima, el 26 de abril de 2017 quien afirmó por medio de correo electrónico que “el INVEMAR no realiza Estudios de Impacto Ambiental ni Planes de Manejo Ambiental. Nuestras investigaciones están orientadas a realizar Línea Base Ambiental. En segunda medida, el Instituto no realiza estudios de sísmica 3D offshore (entendida como perfiles de subsuelo), puesto que no contamos con equipos para esas profundidades. Los que hemos realizado han sido someros y no para exploraciones de hidrocarburos”; A la Dirección General Marítima – DIMAR, cuya respuesta se proporcionó en mayo 12 de 2017 mediante de la solicitud N° 292017103004¹¹ la cual afirma que “La Dirección General Marítima no es el titular de los estudios requeridos, no fueron elaborados ni contratados para su elaboración por esta entidad, motivo por el cual no es posible hacer la entrega de los mismos” y al ANLA, quienes por medio del Radicado ANLA 2017034392-2-001 el 25 de mayo de 2017 afirmaron que “ hasta el momento no hay estudios de impacto ambiental, ni planes de manejo ambiental para los proyectos sísmicos costa afuera en profundidades mayores y/o menores a 200 metros ¹²”.

Como consecuencia de ***la inexistencia de planes de manejo ambiental y estudio de impacto ambiental*** en el archivo de las autoridades pertinentes en Colombia, la investigación se enfoca en estudios e información técnica y científica Internacional, además se considera relevante por la existencia de Hidrocarburos costa afuera ya evidenciada en el territorio nacional, asimismo se proyecta que la investigación va

¹⁰ BASTIDAS S. Martha L., Jefe Línea Oceanografía y Clima. Programa Geociencias Marinas y Costeras. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Santa Martha.

¹¹ MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. Dirección General Marítima. Solicitud N° 292017103004. Bogotá D.C. mayo 12 de 2017. 1 Pág.

¹² AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES – ANLA. Radicado ANLA 2017034392-2-001. Bogotá D.C. mayo 25 de 2017. 2 Págs.

a incentivar el trabajo exploratorio sísmico, la perforación exploratoria y producción en el caribe Colombiano.

1.2. ADQUISICIÓN DE SÍSMICA EXPLORATORIA COSTA AFUERA.

Los programas sísmicos costa afuera permiten determinar posibles áreas con potencial de reserva de hidrocarburos, los cuales proporcionan información básica sobre las características generales de la estructura del subsuelo marino¹³. Para el desarrollo de estos programas se utiliza una embarcación científica, la cual cuenta con un conjunto de equipos diseñados y específicos para la ejecución de dicha actividad. Esta embarcación científica se desplaza de manera continua a través de una línea sísmica o trayecto definido y, a partir de la emisión de ondas sonoras generadas de manera artificial y controladas a partir de una fuente de sonido (cámaras de aire), producen una burbuja que viaja en forma vertical a través del agua, y de los estratos del subsuelo marino. Cada estrato o capa de la tierra, dependiendo de sus propiedades físicas (impedancia acústica), hace que el sonido rebote hacia la superficie; este reflejo es detectado por sensores o receptores denominados hidrófonos, los cuales se encuentra sumergidos en el agua a una profundidad promedio de 6 a 12 metros. Luego, las señales son procesadas en computadoras, produciendo finalmente una imagen que permite confeccionar los mapas geológicos del subsuelo marino¹⁴.

La embarcación científica debe contar con los permisos y documentación pertinente para poder operar de acuerdo a la legislación nacional y acuerdos internacionales. Así mismo, cuenta con un barco escolta cuya función es comunicar y prevenir posibles incidentes con otras embarcaciones.

La sísmica se inicia con el apoyo de un compresor que genera un volumen de aire comprimido con una presión promedio de 2.000 a 2.500 Psia, el aire viaja por

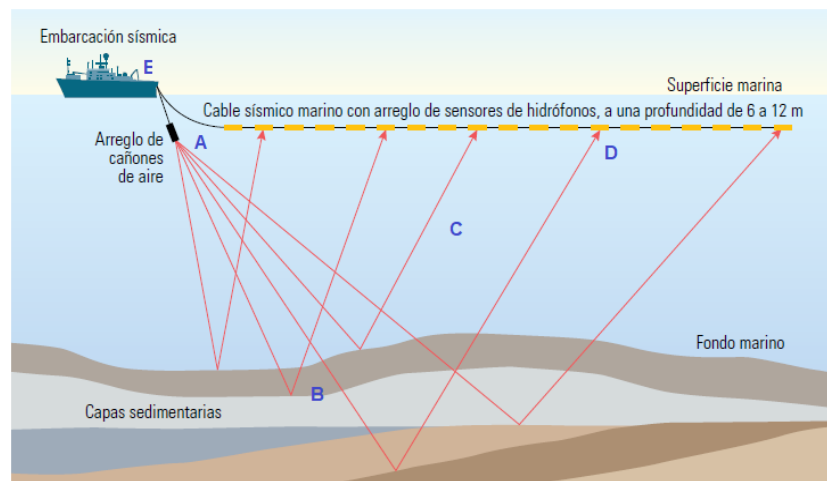
¹³ PETRO TECH. Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales. Lote Z-48, junio 2007 p 1.

¹⁴ SAVIA [En línea]. Perú. Evaluación Sísmica: Coexistencia pacífica en el mar. P 5. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: [https:// www.saviaperu.com](https://www.saviaperu.com).

mangueras y tuberías llegando a almacenarse en un arreglo de cámaras de aire; posteriormente, en el momento determinado las cámaras de aire se accionan y expulsa una burbuja de aire generando las ondas de sonido¹⁵.

El aire comprimido liberado en cada descarga de onda emitida se realiza en pleno movimiento de la nave sísmica a una velocidad promedio de 4 nudos, con distancia de 25 metros entre cada punto de emisión para la sísmica 2D y 12,5 metros para la sísmica 3D. Por consiguiente, las liberaciones de aire no se repiten en el mismo lugar ni en el mismo tiempo¹⁶.

Figura 1 - Levantamiento sísmico marino



Fuente: OILFIELD REVIEW, SCHLUMBERGER. Las especies silvestres marinas, y las actividades de E&P: Trabajando para coexistir, P 1, mayo de 2015

A continuación, se enuncia el procedimiento para adquirir sísmica costa afuera basados en la figura 1:

- A- Las Pistolas de aire generan una burbuja que produce una onda acústica.
- B- El sonido penetra la corteza marina.
- C- Las ondas se reflejan desde el subsuelo hasta la superficie del mar.

¹⁵ Ibid, p 6.

¹⁶ Ibid, p 5.

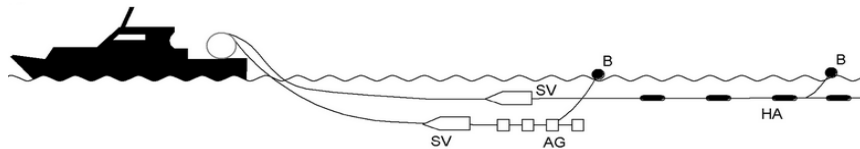
- D- Las reflexiones se detectan en los hidrófonos que están unidos al cable sísmico y se envían al centro de registro de la embarcación.
- E- La grabación se procesa para producir una imagen del subsuelo.

1.3. SÍSMICA 2D Y 3D.

El principio de la prospección Sísmica 2D y 3D es el mismo, la reflexión. La diferencia radica en la densidad de datos y la geometría de la adquisición. La sísmica 2D se realiza en primera instancia como una etapa de reconocimiento del área, para lo cual se utiliza un solo cable sísmico, programando líneas espaciadas cada 5 o 10 kilómetros. Una vez finaliza la adquisición, se procesan los datos y luego se procede a la etapa de interpretación. Si el Geofísico visualiza la posibilidad de encontrar alguna estructura geológica con posibilidad de hidrocarburo atrapado, se programa una campaña adicional de sísmica 3D sobre el área a evaluar predeterminada. La sísmica 3D es una grilla de líneas que proporciona información más precisa del tamaño y forma de la estructura geológica. A continuación, se presentan dos figuras en las cuales se evidencia la diferencia entre la sísmica 2D y la sísmica 3D.

- En la figura se muestra el arreglo sísmico para el reconocimiento previo del área a evaluar.

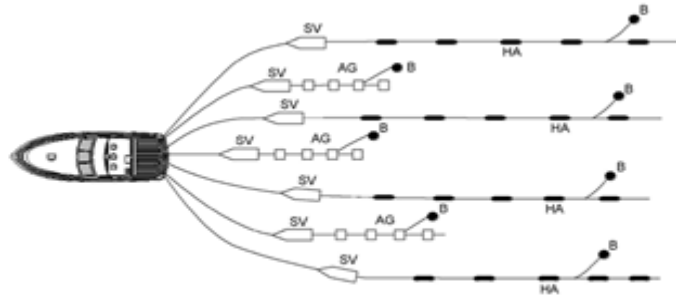
Figura 2 - Sísmica 2D



Fuente: petrowiki.org/images/9/95/Vol5_Page_0028_Image_0001.png, Consultado: noviembre 12 de 2017

- En la figura se presenta un grillado más denso con el fin de obtener una imagen mucho más clara y precisa del subsuelo marino.

Figura 3 - Sísmica 3D



Fuente: petrowiki.org/images/9/95/Vol5_Page_0028_Image_0001.png Consultado: noviembre 12 de 2017

Donde:

- SV: Veleta guía (*Steering vane*)
- B: Boya (*Buoy*)
- AG: Arreglo de cañones de aire (*Air-gun array*)
- HA: Arreglo de hidrófonos (*Hydrophone array*)

1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS SÍSMICOS

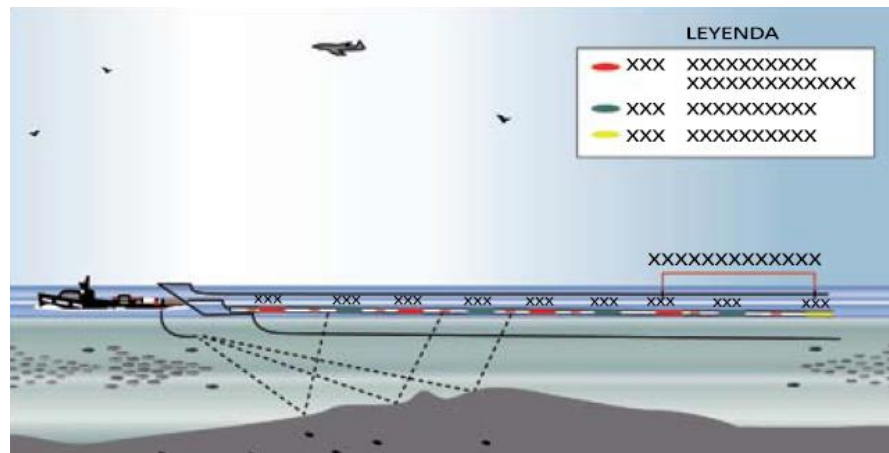
A continuación, se presentan los equipos esenciales y más usados para desarrollar una campaña sísmica en altamar.

1.4.1 Cable sísmico. El cable sísmico (streamer), debe ser de última generación y es halado por la embarcación científica. En el interior del cable se encuentran los hidrófonos encargados de registrar la información reflejada.

Al final de los cables van colocadas unas boyas (tailbouys) equipadas con una luz intermitente, de manera que puedan ser fácilmente observadas, indicando que el cable ya pasó en su totalidad.

Para la sismica 2D se emplea generalmente 1 solo cable multi-canal digital de 6.000 metros y para la sismica 3D, se utilizan generalmente 3 cables multi-canal digital de 3.000 metros cada uno con una separación máxima entre ellos de 100 metros.¹⁷

Figura 4 - Barco científico Remolcando Cable Sísmico



Fuente: SAVIA, Evaluación Sísmica: Coexistencia pacífica en el mar, Perú P 10

1.4.2. Hidrófonos. Los hidrófonos son los dispositivos encargados de recibir la señal analógica proveniente de las reflexiones de la onda y van agrupadas a lo largo y dentro del cable sísmico (Streamer). Estos dispositivos tienen 5,1 centímetro de largo, 1,7 centímetro de diámetro y 25 gramos de peso, trabajan con una sensibilidad de hasta 20 V/bar generalmente.¹⁸

¹⁷ Ibid, P 10

¹⁸ Ibid, P 10

1.4.3. Cámaras de aire. Las cámaras de aire son las fuentes generadoras de las ondas sonoras en el mar. Para la adquisición sísmica generalmente se trabaja con una presión de 2.000 a 2.500 Psia, dependiendo de la formación a evaluar.

Figura 5 - Cámara de aire



Fuente: SAVIA, Evaluación Sísmica: Coexistencia pacífica en el mar, Perú. P 11

Estas cámaras de aire tienen una forma cilíndrica de unas 4 pulgadas de diámetros y 30 a 50 cm de largo, agrupadas formando arreglos de 30 a 50 m de longitud, ubicados a ambos lados del barco y van a una profundidad aproximada de 6 a 12 metros de la superficie o nivel del mar.¹⁹

Operación de las cámaras de aire: Existen 3 cámaras que controlan el movimiento de apertura, ellas son la cámara principal, la cámara de ejecución y la cámara de resorte de aire y retorno de cámara.

La cámara resorte de aire es alimentada constantemente por el suministro de aire, el cual sirve para 2 propósitos, hace que la cápsula este cerrado mientras la cámara no trabaja y proporciona un resorte de retorno, para volver la cápsula a su posición abierta de trabajo.

La cámara de ejecución controla la actividad de la misma, ésta es alimentada por la válvula solenoide, que normalmente está cerrada.

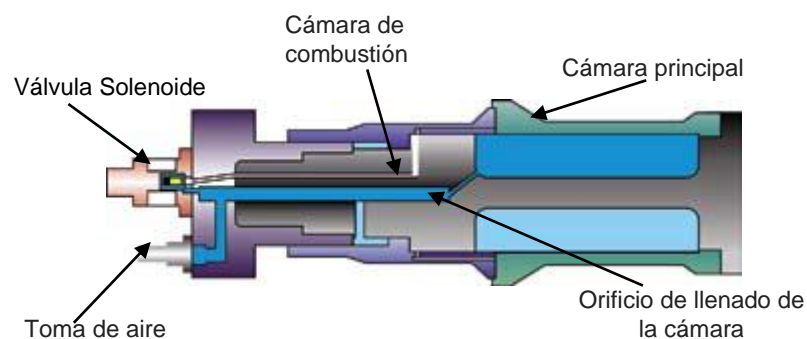
Cuando un pulso eléctrico es enviado a la válvula solenoide, la válvula se abre y permite la entrada de aire a la cámara de ejecución. Esto crea una fuerza

¹⁹ Ibid, P 11

desbalanceada que abre la capsula. Una vez que la capsula está completamente abierta, pequeñas lumbreras de escape descargan la presión de aire.

La cámara principal es descargada rápidamente para crear una onda acústica. Esta cámara también contribuye a la fuerza de apertura de la cápsula, causando que la cápsula se abra rápidamente. Esto es esencial para un pulso acústico eficiente. Tan pronto como la cámara de ejecución movió la cápsula lo suficiente como para golpear el sello entre la cámara y el enchufe de la cámara, el aire a alta presión se precipita dejando al descubierto un área mucho mayor a la presión de la cámara. Esta fuerza es por mucho la mayor fuerza que actúa sobre la cápsula²⁰.

Figura 6- Cámara llena de Aire Comprimido



FUENTE: SAVIA, Evaluación Sísmica: Coexistencia pacífica en el mar., Perú, P 12

Este tipo de cámaras usan un concepto de recolección magnética el cual es el método más confiable de cámaras de aire comprimido de este tiempo. Un pulso eléctrico es generado por los magnetos en el tope de la cápsula aproximando la bobina de tiempo en la tapa de la cámara²¹.

Las cámaras se agruparán dentro de un arreglo cuyas características se presentan a continuación:

- Número Total de cámaras de aire
- Tipo de cámara

²⁰ Ibid, P 11

²¹ Ibid, P 12

- Presión aire de cada cámara (Psia)
- Volumen total (pulgadas cúbicas)

1.5. POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES.

Uno de los temas que provoca preocupación es el sonido generado por las cámaras de aire durante la actividad de la prospección sísmica y la posible afectación a las especies presentes en la zona de estudio. Por ello, para entender mejor la naturaleza del sonido se da algunos conceptos respecto a este tema.

El sonido es un fenómeno de oscilación de ondas; es la sensación percibida por el oído de alguna especie, por el cambio de presión generado por el movimiento vibratorio de los cuerpos sonoros²². El sonido es una vibración que se propaga a través de algún medio, en este caso de investigación, el agua. Existe una serie de variables de las cuales depende el sonido y su intensidad, las cuales son:

1.5.1. Frecuencia. Es el número de ciclos de una onda en un segundo y se mide en Hertz. Un ciclo es cuando la onda sube, baja a través de la línea central y sube de nuevo al punto donde inició. La medida se puede iniciar en cualquier parte de la onda, siempre y cuando termine donde empezó. Entre más ciclos por segundo más alta la frecuencia. Así que la frecuencia tiene que ver con el tono²³.

1.5.2. Longitud de onda. La longitud de onda describe cuán larga o corta puede ser ésta. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos es lo que llamamos longitud de onda.

La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda. Una longitud de onda larga corresponde a una frecuencia baja, mientras que una longitud

²² Ibid, P 14

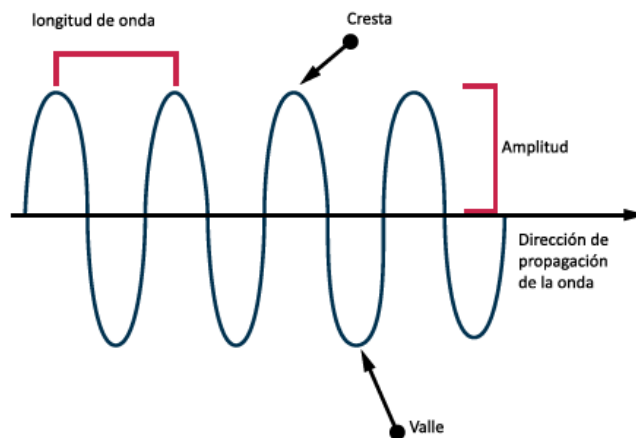
²³ SERWAY, RAYMOND A.; JEWETT, JOHN W. (2004). Physics for Scientists and Engineers (6ª edición)

de onda corta corresponde una frecuencia alta, es decir, a más alta la frecuencia más veces se repite la onda durante un tiempo determinado²⁴.

El rango de longitud de onda, de las ondas de sonido, que los seres humanos pueden escuchar, oscila entre menos de 2 cm (una pulgada) y 17 metros (56 pies) aproximadamente.

La frecuencia y longitud de onda de una onda están relacionadas entre sí mediante la siguiente ecuación: **Longitud de Onda = c / f** ; donde, “c” es la velocidad de la onda, y “f” es la frecuencia.

Figura 7 - La Onda



FUENTE: SAVIA, Evaluación Sísmica: Coexistencia pacífica en el mar, Perú. P 14

Las ondas de sonido con un tono de 1.000 Hz producen ondas con longitudes de onda de unos 34 cm ($\lambda = c / f = 343 \text{ m s}^{-1} / 1000 \text{ s}^{-1} = 0.343 \text{ metros}$). Cabe tener en cuenta que no todas las ondas sonoras son audibles y que cada especie o individuo tiene una capacidad auditiva distinta.

Las cámaras de aire producen sonidos entre el rango de frecuencias de 20 a 150 Hz, rango auditivo dentro del cual se encuentran muchas especies marinas, por lo que podemos concluir que peces y mamíferos, pueden oír el sonido generado por las cámaras de aire, así como oímos la brisa del mar, entonces, lo importante no es

²⁴ HECHT, Eugene (1987). *Optics*. Addison Wesley. ISBN 0-201-11609-X.

si se puede oír el sonido, sino con que intensidad y a que distancia, pero una reacción lógica nuestra (y de cualquier especie), es retirarnos hasta una distancia de unos metros suficiente para que no nos afecte.

1.5.3. Intensidad. Es la cualidad que distingue la “fuerza” del sonido y se mide en decibeles. La intensidad del sonido depende de la amplitud de la vibración. Una mayor amplitud de onda nos produce la sensación de sonido fuerte; menor amplitud nos da un sonido débil. No existe una medida exacta de la intensidad del sonido. En su lugar se emplea una escala logarítmica basada en la sensibilidad media del oído humano.

Así mismo, la medición del sonido o SLP (Sound Level Pressure) se expresa en decibeles, lo cual es una relación logarítmica que, para el caso del mar, toma como presión de referencia 1 uPa y para el caso del aire la presión de referencia es 20 uPa. Por ese motivo, es que las mediciones de sonido en el agua no son similares o equivalentes a las del aire y no deberían compararse el umbral del dolor en el aire con las mediciones en el agua. Para el caso de las cámaras de aire en el agua el nivel de presión tiene efecto severo solo cuando hay proximidad a la cámara de aire.

1.5.4. Duración. Como su nombre indica, es el tiempo que permanece la sensación auditiva. Mientras el estímulo vibratorio pueda excitar el oído, así durará la sensación de sonido.

2. SÍSMICA EXPLORATORIA COSTA AFUERA CON BASE EN INFORMACIÓN TÉCNICA Y CIENTÍFICA INTERNACIONAL

2.1. METODOLOGÍA

A continuación, se describe el proceso realizado con el fin de obtener información técnica y científica para analizar los impactos ambientales significativos en los programas de exploración sísmica costa afuera.

2.1.1. Búsqueda de Información.

2.1.1.1. Búsqueda con herramientas de investigación proporcionadas por la Universidad Industrial de Santander – UIS: Con el fin de realizar la revisión bibliográfica de información técnica y científica con la cual se pueda cumplir totalmente los objetivos trazados en el plan de trabajo del proyecto, se acude en primera instancia a la biblioteca virtual One Petro²⁵. Ésta herramienta permite consultar actas de conferencias de 19 organizaciones aliadas y publicaciones de revistas indexadas, enfocadas en temas de la industria petrolera. La búsqueda se realiza en idioma inglés, citando las siguientes palabras claves:

- Sísmica costa afuera (Offshore seismic).
- Efectos en la fauna marina a causa de sísmica costa afuera (Effects on marine species due to offshore seismic).
- Medio ambiente y sísmica costa afuera (Environment and offshore seismic).
- Impactos en las especies marinas causada por ondas acústicas (Impacts on marine species caused by acoustic waves).

²⁵ ONE PETRO. [En línea]. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.onepetro.org/>

Los documentos se descargaron por medio de la suscripción de la Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de petróleos.

En segundo lugar, por medio de la suscripción de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander se accede a diferentes bases de datos científicas, las cuales se encuentran a disposición de la comunidad universitaria. El acceso a esta base de datos se realiza de dos formas: desde las instalaciones del campus central, y por medio de acceso remoto; disponible para toda la comunidad universitaria activa. Se selecciona tres de ellas, relacionadas a continuación:

- CRCnetBASE: Plataforma donde se pueden encontrar libros electrónicos en formato PDF de la prestigiosa editorial CRC Press y la búsqueda debe realizarse en idioma inglés²⁶.
- Web of Science: Es un servicio en línea que facilita el acceso a un conjunto de base de datos en la que se puede encontrar libros, revistas impresas, entre otro tipo de material, incluyen todas las áreas de investigación. Toda la información es editada por el Institute for Scientific Information(ISI)²⁷.
- Scopus: Importante base de datos bibliográficos que ofrece al público una gran variedad de resúmenes y revistas científicas multidisciplinarias²⁸.

²⁶ BIBLIOTECA UIS. Acceso remoto. [En línea]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: ezproxy.uis.edu.co:2048/menú.

²⁷ *Ibíd.*

²⁸ *Ibíd.*

2.1.1.2. Búsqueda en páginas web internacionales de compañías petroleras, entes gubernamentales y entidades ambientales internacionales: Para la búsqueda de casos de estudio en áreas costa fuera de programas sísmicos y que se exigiera la realización de un estudio de impacto ambiental o plan de manejo ambiental, se consulta las páginas web de las siguientes compañías petroleras, entidades gubernamentales y entidades ambientales reconocidas, debidamente constituidas:

- **Ecologistas en acción²⁹:** Es una organización no gubernamental - ONG, fundada el 9 de diciembre de 1998 de origen español. Está conformada por más de 300 grupos de ecologistas y posee sedes por todo el territorio español, además de publicar su propia revista. Han realizado investigaciones de los impactos generados por la sísmica costa afuera en las regiones de Austrias, Canarias y Mar de Alborán.
- **Environmental Resources Management - ERM³⁰, Argentina:** Fue fundada en 1988, su razón se encuentra centrada en la realización de estudios de casos ambientales, ofreciendo a la industria de los hidrocarburos soluciones sostenibles que le permitan mejorar su desempeño ambiental.
- **GX Technology - ION Geophysical³¹:** Fue fundada en 1978 bajo el nombre de Input/Output cambio su nombre en el 2007, su sede principal esta Houston, Texas. Es una compañía que provee tecnología científica para industria de los hidrocarburos.
- **Lamont Doherty Earth Observatory - LDEO³²:** unidad de investigación perteneciente a la prestigiosa universidad de Columbia ubicada en Palisades-New York, fundada en 1949.

²⁹ ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. [En línea]. España. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org>.

³⁰ ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT (ERM). [En línea]. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.erm.com/>.

³¹ GX TECHNOLOGY- ION GEOPHYSICAL. [En línea]. Estados Unidos de Norte América. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: www.iongeo.com

³² LAMONT DOHERTY EARTH OBSERVATORY, Columbia University. New York City. [En línea]. Estados Unidos de Norte América. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: www.ldeo.columbia.edu.

- **National Science Foundation Division Of The Ocean Sciences - NSF³³**: es una fundación de origen gubernamental que posee sus oficinas centrales en Virginia, Estados Unidos de Norte América. Se encarga de impulsar la investigación en todos los campos de la ingeniería.
- **OCEANA³⁴**: Fundada en el 2001, es una organización sin ánimo de lucro centrada exclusivamente en la protección de los océanos, especies amenazadas y ecosistemas marinos con sedes ubicadas en Europa y América del norte, central y sur.
- **Pan American Energy – PAE³⁵**: compañía de exploración y explotación petrolera, de origen privado. Fundada en 1973 en Argentina, produce el 20% del petróleo y 16% de gas de ese país. Tiene operaciones costa afuera en el golfo de San Jorge localizado en la costa atlántica Argentina.
- **PetroTech S.A.³⁶**: Es una compañía perteneciente a un convenio colombo-coreano, dedicada a la exploración y explotación de la industria petrolera en Perú. Forma parte del proceso de internacionalización de la empresa colombiana de petróleo Ecopetrol S.A.
- **Savia - Perú³⁷**: Es una de la principales compañía petroleras de Perú, fundada en febrero de 2009. Su administración está a cargo de dos reconocidas empresas petroleras, Ecopetrol S.A., empresa colombiana de petróleo y, KNOC, Corporación Nacional de Petróleo de Corea.
- **SK Energy Co. Ltda³⁸**: Es una compañía surcoreana fundada en 1953 que trabaja en la exploración, explotación y refinación del petróleo. Actualmente realiza exploración en 30 bloques en 16 naciones a nivel mundial.

³³ NATIONAL SCIENCE FOUNDATION DIVISION OF THE OCEAN SCIENCES. [En línea]. Estados Unidos de Norte América. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.nsf.gov/div/index.jsp?div=OCE>.

³⁴ OCEANA. [En línea]. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.oceana.org>.

³⁵ PAN AMERICAN ENERGY - PAE. [En línea]. Argentina. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.pan-energy.com>.

³⁶ PETROTECH S.A. [En línea]. Perú. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.petrotech-ecuador.com/>.

³⁷ SAVIA [En línea]. Perú. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.saviaperu.com>.

³⁸ SK ENERGY CO. LTDA. [En línea]. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.sky-energy.com>.

- **SUBMON³⁹**: Entidad enfocada en realizar estudios marinos. Está formada por biólogos, ingenieros y submarinistas, con sede en Barcelona, España, con veinte años de experiencia en el estudio de las aguas marítimas.

2.1.1.3. Otras herramientas académicas utilizadas: Igualmente, se realiza una búsqueda detallada en la herramienta académica de acceso público Google Académico,⁴⁰ que permite acceder a literatura científica y académica de forma gratuita.

2.1.2. Análisis de Información. Los estudios de identificación y tipificación de impactos ambientales significativos en la fauna marina atribuyen el impacto en las especies a la descarga del cañón neumático en el área a sondear. Estos estudios fueron analizados según la autoría de la empresa que los desarrolla. Se tiene en cuenta que el autor sea una compañía o entidad debidamente acreditada y constituida, pues uno de los criterios principales es analizar con base de fuentes fidedignas. Cada identificación y tipificación de impactos está debidamente soportada por bibliografía técnica y científica.

Al concluir el análisis de la información, se trabaja con ocho casos de estudio de diferentes bloques marinos donde se realizó estudios sísmicos, los cuales deben cumplir los siguientes factores determinantes:

- Localización de la corrida sísmica.
- Tipo de sísmica corrida.
- Extensión total en la cual se corrió sísmica.
- Duración de la corrida sísmica.
- Profundidad del bloque estudiado.

³⁹ SUBMON. [En línea]. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: www.submon.org/es.

⁴⁰ GOOGLE ACADÉMICO. [En línea]. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://scholar.google.es>.

- Identificación de la fauna marina que habita el área de estudio.
- Identificación y soporte científico de los impactos significativos a la fauna marina por grupo de especies.
- Especificaciones técnicas de las pistolas de aire.

El reconocimiento de estos factores tiene como finalidad realizar la identificación, tipificación, evaluación y categorización de los impactos significativos presentados en las especies que habitan las áreas a sondear de los estudios sísmicos.

Fue incluido como caso de estudio para el cumplimiento del último objetivo planteado el análisis de planes de manejo ambiental, manuales y documentos de buenas prácticas en las adquisiciones de sísmica costa afuera elaborados por fuentes fidedignas.

2.1.3. Criterios de selección de Información. Los criterios de selección son establecidos a juicio de los autores. Los casos de estudio seleccionados están debidamente respaldados por publicaciones directas de sus autores quienes han profundizado en los impactos de las ondas acústicas en la fauna marina.

Se descartaron reportajes y publicaciones que no se encontraban soportadas en información técnica o científica, ya que la veracidad de la información no podría ser confirmada por los autores del presente trabajo de investigación y, no representaban fuentes sólidas. Además, fueron descartados los casos de estudios que no cumplían con la información suficiente para realizar la identificación, tipificación, evaluación y categorización de los impactos a evaluar en esta investigación.

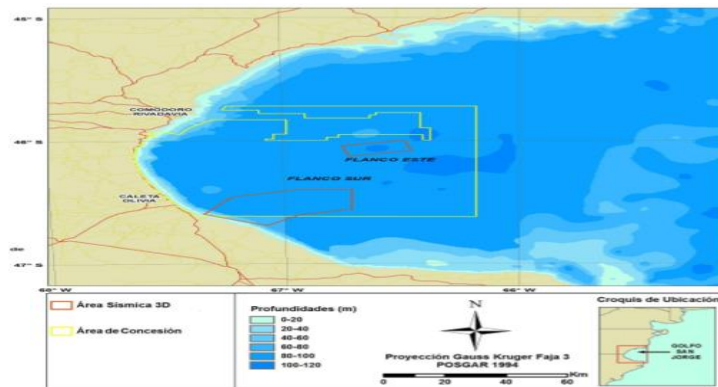
2.2. INFORME Y ESTUDIOS DE IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS GENERADOS POR PROGRAMAS SÍSMICOS COSTA AFUERA.

En la siguiente sección se describen detalles técnicos de las zonas seleccionadas por los autores para realizar la identificación y tipificación de impactos. La descripción de cada impacto es respaldada por estudios científicos.

2.2.1. CASO I: Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera - Bloque Centro Golfo San Jorge y plan de contingencia.

Argentina. La compañía Pan American Energy - PAE, llevó a cabo un programa sísmico 3D en el bloque CGSJM ubicado en el golfo de San Jorge, con el objetivo de analizar la prospección de hidrocarburos en el subsuelo marino para el año 2012. Se realizó en dos zonas dentro del bloque denominadas como Flanco sur y Flanco este.⁴¹

Figura 8 - Zonas de prospección sísmicas 3D de PAE en Golfo de San Jorge.



Fuente: PAN AMERICA ENERGY, Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera, Capítulo IV Descripción del proyecto, marzo 2012.

- **Flanco sur:** La distancia recorrida estimada por la embarcación fue 3.000 Km a una velocidad de 5 nudos (2.6 m/s), el área exterior del flanco es 1.555 Km² y el área en la que se realizó el estudio sísmico dentro del bloque fue de

⁴¹ PAN AMERICA ENERGY. Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera. Capítulo IV Descripción del proyecto, marzo 2012, p 1.

976 Km², a una profundidad promedio entre 25 y 98 metros, con una duración del estudio de 30 a 45 días.⁴²

- **Flanco este:** Es de menor extensión que el flanco sur con sólo 292 Km² de los cuales el estudio sísmico abarco un área de 200 Km². La distancia recorrida por la embarcación se estimó en 600 Km² a una velocidad de 5 nudos (2.6 m/s), la profundidad del bloque varia de 92 a 100 metros, se estima una duración de 6 a 9 días en la adquisición de datos sísmicos.¹⁸

Características de la fuente sísmica: A continuación se presenta una tabla con las características técnicas⁴³ de las pistolas o cañones de aire empleados:

Tabla 1- Características de la pistolas de aire empleadas en el programa sísmico del Golfo de san Jorge.

Característica técnica	Valor numérico	Unidad
Presión de aire	2.000	Psia
Volumen de aire de la fuente	5.015	in ³
Banda de frecuencia	0-100	Hz
Ubicación de la fuente	8	mts
Nivel de presión sonora de la fuente	213	dB

Fuente: PAN AMERICA ENERGY, Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera, Capítulo IV Descripción del proyecto, marzo 2012.

2.2.2. Caso II: Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional del Golfo de Yucatán. México, 9 de junio al 13 de julio de 2004. Esta adquisición sísmica se lleva a cabo en aguas profundas mayores a 100 metros, en la costa septentrional de la península de Yucatán en el Golfo de México.

El golfo es el habitat de especies en peligro de extinción en la que se debe resaltar algunas clases de tortugas como la laúd, verde, lora, caguama o mamíferos como

⁴²Ibid p 4

⁴³ Ibid p 6

la ballena franca declarada por la legislación mexicana⁴⁴ y la ley de especies en peligro de extinción de los Estados Unidos de Norte América⁴⁵ como especie en peligro de extinción.

Figura 9 -. Zonas de prospección sísmica en el cráter Chicxulub de la Península de Yucatán en el golfo de México.



Fuente: LAMONT DOHERTY EARTH OBSERVATORY. Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional del Golfo de Yucatán. México, 9 de junio al 13 de julio de 2004.

En la figura 9, se puede observar la ubicación en coordenadas de la zona de prospección sísmica: latitud norte entre los 21° y 22,5° y longitud oeste entre 88° a 91°,⁴⁶ es muy importante resaltar que el estudio se realiza en una zona adyacente del golfo de México, zona económica exclusiva o mar patrimonial.

Características de la fuente sísmica. Se diseñó para este estudio sísmico un arreglo de 20 pistolas o cañones de aire con las siguientes características⁴⁷:

⁴⁴ NORMA OFICIAL MEXICANA -NOM-059.SEMARNAT-2010. [En línea]. Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diciembre 30 de 2010. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

⁴⁵ LEY FEDERAL DE ESPECIES EN PELIGRO DE EXTINCIÓN. [En línea]. Estados Unidos de Norte América. (Recuperado en abril de 2017). Disponible en: <https://www.fws.gov/caribbean/PDF/ESASec7.pdf>

⁴⁶ LAMONT DOHERTY EARTH OBSERVATORY. Columbia University. New York City. Evaluación de impacto ambiental para la región Secretaria de México, 2004, p 6.

⁴⁷ Ibid p 13.

Tabla 2 - Características de la pistolas de aire empleadas en el programa sísmico de la península de Yucatán en el Golfo de México.

Característica técnica	Valor numérico	Unidad
Presión de aire	2.000	Psia
Volumen de aire de la fuente	8.575	in ³
Banda de frecuencia	0-188	Hz
Ubicación de la fuente	7.5	Mts
Nivel de presión sonora de la fuente	262	dB

Fuente: LAMONT DOHERTY EARTH OBSERVATORY. Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional del Golfo de Yucatán. México, 9 de junio al 13 de julio de 2004.

Se estima un recorrido de la embarcación de 3.313 Km. Los pulsos sísmicos generados por las pistolas de aire durante el recorrido se llevan a cabo en un intervalo de tiempo de 20 segundos, lo que corresponden a intervalos de disparo de 50 metros.⁴⁸ La embarcación opera a una velocidad de 4 a 5 nudos, es decir, 7,4 a 9,3 Km/h durante la adquisición sísmica. El Erwin servirá de plataforma para que los observadores de mamíferos marinos puedan hacer un registro detallado de las especies.

Etapas del programa de adquisición sísmica en la Península de Yucatán.

- **Etapa 1:** Durante la etapa inicial del estudio de adquisición sísmica se recorre un total de 480 Km, en cuatro direcciones diferentes que se describen a continuación:

Tabla 3 - Longitud y dirección fase I estudio de adquisición sísmica, Península de Yucatán.

Dirección de la corrida	Número total de Km que serán medidos	Sistema de recepción de señal acústica
Este-oeste	180	Línea de hidrófonos de 6 Km
Este-oeste	45	Línea de hidrófonos de 3 Km

⁴⁸ Ibid p 13.

Este-oeste	45	OBSs sin hidrófonos
Norte-Sur	210	OBSs sin hidrófonos

Fuente: LAMONT DOHERTY EARTH OBSERVATORY. Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional del Golfo de Yucatán. México, 9 de junio al 13 de julio de 2004.

- **Etapa 2:** Se mide 675 Km en el estudio sísmico, con una duración de 81 horas, la etapa tomara 4 días para terminarse y se remolca una línea de 6 Km de hidrófonos.⁴⁹
- **Etapa 3:** En la tercera etapa la embarcación sísmica no arrastra una línea de hidrófonos, se realizan mediciones de alta resolución durante 108 horas, es decir, 6,5 días.⁵⁰
- **Etapa 4:** La longitud total que recorre el buque sísmico se planteó 495 Km con pistolas de aires, se realizaran 12 giros de 12 Km cada uno con un total de 144 Km, en total la actividad durara 77 horas. Se predijo 8 días para realizar el estudio sísmico⁵¹.
- **Etapa 5:** Esta etapa se realiza en un periodo de 2 días con 39 horas de disparo sísmicos, se recorrerá 325 Km de mediciones sísmica y se remolcara una línea de hidrófonos de 6 Km⁵².
- **Etapa 6:** No se realizada adquisición sísmica, no se plantean actividades con los cañones de aire⁵³.
- **Etapa 7:** El tiempo en el cual se realizan disparos será un total de 18 horas, y toma aproximadamente un día. Durante la etapa final se medirá una malla de 150 Km, usando una línea de hidrófonos de 3 Km⁵⁴.

⁴⁹ Ibid p 15.

⁵⁰ Ibid p 18.

⁵¹ Ibid p 18.

⁵² Ibid p 18.

⁵³ Ibid p 18.

⁵⁴ Ibid p 18.

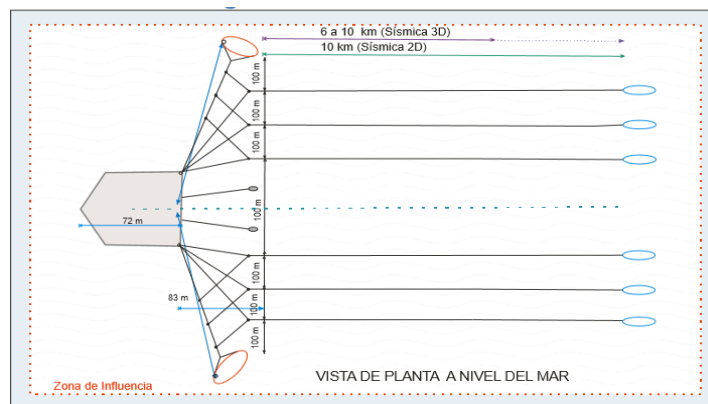
2.2.3. CASO III: Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto levantamiento sísmico 2D Y 3D regional de la franca costera del Perú Tumbes - Tacna. El estudio sísmico se lleva a cabo en profundidades desde los 40 a 400 metros desde el nivel del mar, se planea una duración de 28 semanas, el área de estudio para las adquisiciones 2D y 3D fueron 42.673 km² y 18.000 Km² respectivamente⁵⁵.

Detalles técnicos de la adquisición sísmica en la región de Tumbes-Tacna Perú: La presión de descarga de la pistola de aire comprimida que se libera es de 2.000 psia, la longitud del cable sísmico o “stream” que se uso fue de 10 Km en cada de los instalaron hidrófonos. En total se pronosticó que serían utilizados de 4 a 6 cables sísmicos con esta especificación⁵⁶.

La información recolectada por los hidrófonos en primer lugar se registra analógicamente y luego será traducida y posteriormente grabada en señal digital.

Características del tendido de los cables o “stream”: Los seis cables sísmicos se proyectan con una longitud de 10 Km y ancho de 500 metros. Se ubican a 8,5 metros debajo del nivel del mar, soportados por un sistema de boyado. A continuación, se presenta un esquema del sistema de cables anclado al buque sísmico:

Figura 10 - Diseño de tendido de cables prospección área del Perú Tumbes-Tacna sísmica



Fuente: ION-GX-TECHNOLOGY. Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto levantamiento sísmico 2D Y 3D regional de la franca costera del Perú Tumbes-Tacna, P 5

⁵⁵ ION-GX-TECHNOLOGY. Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto levantamiento sísmico 2D Y 3D regional de la franca costera del Perú Tumbes-Tacna, p1.

⁵⁶ Ibid p 4

2.2.4. CASO IV: Campaña sísmica 2D en áreas libres del Mediterráneo Noroccidental, Mar Balear.

La adquisición sísmica del Mediterráneo Noroccidental-Mar Balear tiene un área de 14.000 Km² con una duración de 22 semanas en una zona que varía la profundidad de 200 a 2.000 metros.

Dentro del área de estudio se encuentran zonas de alto valor ecológico que han sido propuestas para ser áreas protegidas⁵⁷:

- El cañón de Mallorca: más conocido como montañas submarinas de las Islas Baleares es un relieve sumergido en el mediterráneo español.
- Montañas submarinas del canal de Mallorca.
- El escarpe de Emile Baudot: conservación marina, ubicada en archipiélago balear.
- Los cañones de Formentera: situados en el Parque Natural de Es Vedrà, uno de los paisajes más espectaculares de la Islas Baleares.

2.2.5. CASO V: Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales

PETRO TECH-Perú. Se planteó realizar un programa de exploración costa afuera de tipo 2D y 3D en el lote Z-48, perteneciente a territorio marítimo peruano. El área de afectación se estimó en 2.272 Km² con 42 horas de duración en aguas que varían su profundidad en un rango de 350 a 500 metros, la prospección se desarrolló en el buque científicos R/V Gulf Supplier acondicionado para operaciones sísmicas costa afuera quien recorrió 2.272 Km en el área de estudio a una velocidad operativa de 7.44 Km/h (4 nudos)⁵⁸.

Características operativas: Para este proyecto se diseñó un arreglo de 28 pistolas de aire, que contiene 3.480 pulgadas cubicas de aire comprimido para prospecciones 2D y 1.020 pulgadas cubicas para prospecciones 3D que generan la

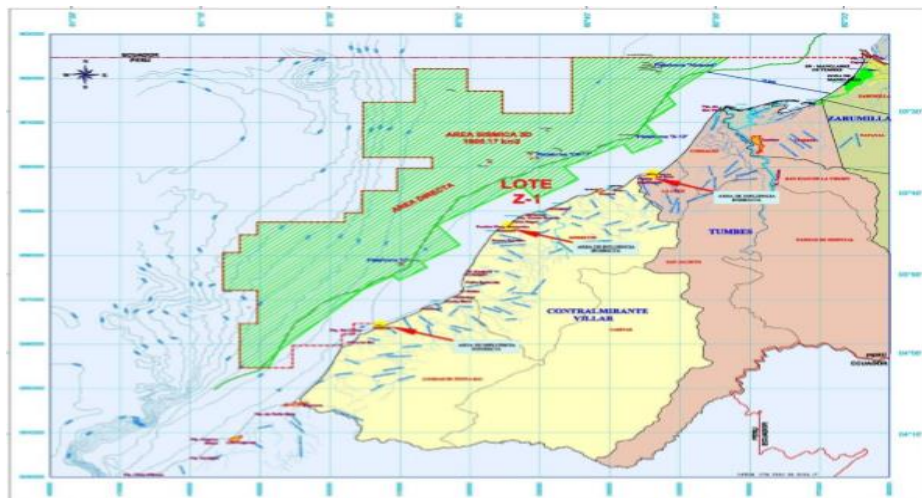
⁵⁷ OCEANA. Campaña sísmica 2D en áreas libres del Mediterráneo Noroccidental. Mar Balear, enero 2014 p 6

⁵⁸ PETRO TECH. Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales. Lote Z-48, junio 2007 p 6.

señal sísmica, los cables sísmicos van acondicionados con hidrófonos para captar la señal⁵⁹.

2.2.6 CASO VI: Estudio de impacto ambiental: proyecto de “Levantamiento sísmico 3D en el lote Z-1 Región de Tumbes y Plan de Manejo Ambiental”. Fue llevado a cabo en una región costa afuera en el mar territorial peruano. El área total aproximada del bloque afectado se estimó en 2.234,37 Km², la actividad de prospección sísmica fue de tipo 3D⁶⁰ con una duración de 120 días y el área de afectación se calculó entre 928 Km² y 1.605,17 Km² ⁶¹.

Figura 11 - Localización del bloque Z1 en el mar territorial peruano.



Fuente: BPZ EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN S.R.L. Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto de “Levantamiento Sísmico 3D en el Lote Z-1 –Región Tumbes-capítulo II febrero de 2011, p 1

Generalidades Técnicas del proyecto: En la siguiente tabla se presentan algunas generalidades del proyecto que ayudaran al lector a contextualizarse con la magnitud del impacto que generara el estudio sísmico.

⁵⁹ Ibid p 10

⁶⁰ BPZ EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN S.R.L. Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto de “Levantamiento Sísmico 3D en el Lote Z-1 –Región Tumbes-capítulo II febrero de 2011, p 1.

⁶¹ Ibid, p 3.

Tabla 4 - Generalidades técnicas del proyecto de adquisición sísmica en el bloque Z1

Generalidad técnicas	Cantidad o magnitud
Cables (streamers)	4 a 24
Energía que emplea las cámaras de aire	4.000 pulgadas cúbicas
Emisiones de ondas sonoras	430.100
Presión de operación de las pistolas de aire	1.900 – 2.000 Psia. (131 – 138 bar)

Fuente: BPZ EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN S.R.L. Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto de “Levantamiento Sísmico 3D en el Lote Z-1 –Región Tumbes-capitulo II febrero de 2011, p 9

Especificaciones del arreglo sísmico: A continuación, presenta un resumen de las especificaciones del arreglo sísmico utilizado en la adquisición. Esta información es suministrada en el estudio de impacto presentado por BPZ Exploración y producción S.R.L.

Tabla 5 - Generalidades técnicas del arreglo sísmico

Sarta	Característica
Longitud de grupo de hidrófonos	12.5 m
Longitud total del cable	360 – 480 grupos x 12.5 m = 4,500 – 6,000 m
Hidrófonos	14 hidrófonos por grupo de 12.5 m
Espaciamiento entre hidrófonos	0.3906 m

Fuente: BPZ EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN S.R.L. Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto de “Levantamiento Sísmico 3D en el Lote Z-1 –Región Tumbes-capitulo II febrero de 2011, p 15

2.2.7 CASO VII: Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD, Y 3D y perforación exploratoria en el lote Z-46, Perú y Plan de manejo ambiental. Esta adquisición sísmica se lleva a cabo en el bloque Z-46, profundidad varía entre 100 y 500 metros. El buque sísmico recorrió 5.000 Km para la adquisición 2D, para la sísmica 2D de alta densidad 9.032 Km y para la adquisición de tipo 3D 2.158 Km².⁶²

Tabla 6- Espaciamiento entre las líneas sísmicas para cada tipo de sísmica corrida en el bloque Z-46.

Tipo de adquisición sísmica	Espaciamiento entre líneas sísmica
3D	50 metros
2D	2.5 A 5.0 Kilómetros
2DAD	200 A 500 metros

Fuente: Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD, Y 3D y perforación exploratoria en el lote Z-46, Perú y Plan de manejo ambiental.

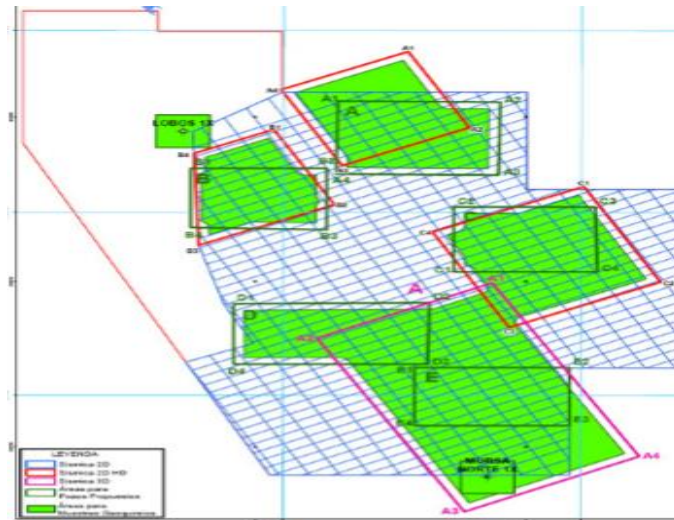
El bloque de estudio fue dividido en tres zonas de estudio, en las cuales fue aplicada diferentes tipos de adquisiciones sísmicas de la siguiente manera:

- Zona A: Tipo de sísmica corrida 2D y 3D.
- Zona A, B, C: Tipo de sísmica corrida 2D, 3D, 2DAD

Para la realización del estudio se proyectó una duración de 52 semanas.

⁶² SK ENERGY CO. LTDA. Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto de Adquisición Sísmica 2D, 2DAD y 3D, y Perforación Exploratoria en el Lote Z-46. Descripción del proyecto, mayo de 2009, p 6.

Figura 12 - Localización de las Zonas A,B,C dentro del bloque Z-46



Fuente: SK ENERGY CO. LTDA. Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto de Adquisición Sísmica 2D, 2DAD y 3D, y Perforación Exploratoria en el Lote Z-46. Descripción del proyecto, mayo de 2009, p 10

2.2.8. CASO VIII: Impactos de las prospecciones petrolíferas en aguas españolas, noviembre de 2005. En este informe son analizados los impactos de tres regiones españolas: Mar de Alboran, con una superficie total de 2.067,6 Km²; Canarias, con una superficie total de 6.160 Km² y Asturias con una superficie total de 5.846,67 Km² ⁶³.

En el documento se reportan impactos significativos sobre los cetáceos, tortugas marinas y calamares gigantes. Los impactos sobre esta última especie fueron descartados de la identificación y tipificación ya que el avistamiento de la población en aguas españolas fue desde 1962 hasta el año de elaboración del informe, y se reduce a solo 47 avistamientos en la costa occidental de Asturias y 75 % de estas especies corresponden a especies vivas capturadas⁶⁴.

⁶³ ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. España. Impacto de las prospecciones petrolíferas en aguas españolas, noviembre 2005, p 5.

⁶⁴ Ibid p 24.

2.2.9. INFORME I: Informe Ambiental de Proyecto Exploración Sísmica Offshore y Onshore Restinga Alí 3D, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.

El estudio se llevó a cabo en agua someras alrededor de 50 metros de profundidad, fue un proyecto de exploración 3D, se empleó un buque apoyado por seis lanchas oceánicas cableras, el área total de afectación de proyecto se estimó 264 Km² con una duración de 60 días.

El informe describe de manera detallada las generalidades técnicas de la adquisición sísmica lo cual fue considerado para los autores de gran importancia en el apoyo del entendimiento de la adquisición sísmica y descarta la afectación de la fauna marina debido a la cercanía con la costa⁶⁵.

2.3. LEGISLACION PARA LA PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN LA EJECUCIÓN DE UNA CAMPAÑA SÍSMICA COSTA AFUERA.

Las actividades exploratorias realizadas en la industria de los hidrocarburos son controladas por entes gubernamentales, quienes son encargados de:

- Expedición de normatividad para la concesión de permisos aprobatorios para actividades propias de la industria petrolera.
- Control y regulación de procedimientos exploratorios y de explotación propios de la industria petrolera, con el fin de mitigar impactos generados a la fauna y al medio ambiente.
- Concesión de suelo con potencial hidrocarburífero a entes privados y nacionales para su exploración y explotación.

⁶⁵ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT – ERM. Informe Ambiental de Proyecto Exploración Sísmica Offshore y Onshore. Restinga Alí 3D. Argentina. Comodoro Rivadavia, Chubut. Descripción del proyecto, junio de 2014 p 1.

Un estudio de impacto ambiental - EIA es una herramienta que permite la identificación, descripción y evaluación de impactos significativos previos a la ejecución de un proyecto en determinada área de jurisdicción de una nación. En cada nación existen entes gubernamentales de control con carácter ambiental, autónomos en sus funciones, quienes legislan requerimientos propios para la ejecución de un estudio de impacto ambiental de acuerdo a las características de cada territorio. Los autores presentan la normatividad vigente en para la presentación de estudios de impacto ambiental previos a ejecutar una campaña exploratoria costa afuera.

Esta información se muestra con el objetivo de que el lector realice un traslape con la actual normatividad Colombiana, la cual permite la adquisición de estudios sísmicos en suelo marítimo a profundidades mayores a 200 metros sin la presentación de estudios de impacto ambiental - EIA, y la normatividad de las zonas de adquisición analizadas en los casos estudios utilizados por los autores como referente para la realización del presente trabajo de investigación; es importante resaltar que la mayoría de los bloques adjudicados en Colombia para exploración o explotación por la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH se encuentra ubicados en profundidades mayores a los 200 metros.

Tabla 7- Normatividad de Argentina para Estudios de Impacto Ambiental

Normatividad – Argentina	
Norma	Citación de norma
RESOLUCIÓN SE 105/92	Artículo 1º- Aprueba las normas y procedimientos para proteger el medio ambiente durante la etapa de exploración y explotación de hidrocarburos tanto en áreas continentales como en la plataforma continental marítima ⁶⁶

⁶⁶ RESOLUCIÓN 105/92, SECRETARÍA DE ENERGÍA, Apruébense las normas y procedimientos para proteger el medio ambiente durante la etapa de exploración y explotación de hidrocarburos, Artículo 1º, Anexo I. En línea: http://www.redproteger.com.ar/Legal/combustible/c_res_SE_105_92.htm.

<p>Ley 2658 LEY DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	<p>Artículo 4°.- Las actividades, proyectos, programas o emprendimientos de construcción, modificación, ampliación, demolición, instalación o realización de actividades susceptibles de modificar directa o indirectamente el ambiente del territorio provincial, deberán obtener para su implementación una Declaración de Impacto Ambiental expedida por la Subsecretaría de Medio Ambiente, habilitación que será renovable cada dos (2) años durante toda la vida útil de la actividad⁶⁷.</p>
	<p>Artículo 7°. Se consideran actividades capaces de modificar directa o indirectamente el ambiente del territorio provincial:</p> <p>g) Las que emitan directa o indirectamente ruido, calor, luz, radiación ionizante y otros residuos energéticos molestos o nocivos.</p> <p>n) Cualquier otra actividad capaz de alterar los ecosistemas o sus componentes, tanto naturales como socioculturales, la salud y bienestar de la población⁶⁸.</p>

Tabla 8 – Normatividad de Perú para Estudios de Impacto Ambiental

Normatividad - Perú	
Norma	Citación de norma
<p>DECRETO SUPREMO Nº 039-2014-EM</p> <p>APRUEBAN REGLAMENTO DE LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS</p>	<p>Artículo 75°.- Exploración sísmica en mar · Estudio de Impacto Ambiental (EIA) El Contratista presentará a la DGAAE- Dirección General de Asuntos Ambientales Energía, previo a iniciarse cualquier Actividad de Exploración y/o Explotación, un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) , Para las Actividades de prospección sísmica en mar, los Titulares deberán cumplir con las siguientes consideraciones aplicables a cualquier tipo de categoría del Estudio Ambiental.⁶⁹</p>

⁶⁷LEY 2658 EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL, Artículo 4°. p.1 En línea: http://www.santacruz.gov.ar/ambiente/leyes_provinciales/ley2658/Ley%20N%C2%BA%202658.pdf

⁶⁸ LEY 2658, Artículo 7°. Op. Cit ., p. 2

⁶⁹ DECRETO SUPREMO Nº 039-2014-EM, APRUEBAN REGLAMENTO DE LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS, Artículo 75. p. 26. En línea:

Tabla 9 – Normatividad de España para Estudios de Impacto Ambiental

Normatividad – España	
Norma	Citación de norma
LEY 21/2013, DE 9 DE DICIEMBRE, DE EVALUACIÓN AMBIENTAL	<p>Artículo 7º. Ámbito de aplicación de la evaluación de impacto ambiental.</p> <p>2. Serán objeto de una evaluación de impacto ambiental simplificada (*):</p> <p>a) Los proyectos comprendidos en el anexo II</p> <p>Anexo II</p> <p>Grupo 3. Perforaciones, dragados y otras instalaciones mineras e industriales:</p> <p>c) Exploración mediante sísmica marina⁷¹.</p>

Tabla 10 - Normatividad de México para Estudios de Impacto Ambiental

Normatividad - México	
Norma	Citación de norma
DOF 09-01-2015 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE	<p>SECCIÓN V Evaluación del Impacto Ambiental-Artículo 28º- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:</p> <p>II.- Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica⁷⁰.</p>

http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Reglamento%20para%20la%20protecci%C3%B3n%20Ambiental%20en%20las%20Actividades%20de%20Hidrocarburos.pdf

⁷⁰, LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE, DOF 09-01-2015, SECCION V Evaluación del Impacto Ambiental-Artículo 28º, numeral II. p .23. En línea: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/148.pdf>

⁷¹ LEY 21/2013, DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, Jefatura del Estado, Artículo 7 numeral 2, ítem “a” de 11 de diciembre de 2013., p.19. En línea: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-12913-consolidado.pdf>

* La evaluación simplificada de impacto ambiental está destinada a valorar los efectos ambientales que se deriven de la ejecución de un proyecto de menor incidencia en el entorno y respecto del cual la detección o corrección de impactos ambientales.

Tabla 9 - Normatividad de Colombia para Estudios de Impacto Ambiental

Normatividad-Colombia	
Norma	Citación de norma
<p>DECRETO 2041 DEL 15 DE OCTUBRE DE 2014</p>	<p>Artículo 8°. Competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- otorgará o negará de manera privativa la licencia ambiental para los siguientes proyectos, obras o actividades:</p> <p>1. En el sector hidrocarburos: a) Las actividades de exploración sísmica que requieran la construcción de vías para el tránsito vehicular y las actividades de exploración sísmica en las áreas marinas del territorio nacional cuando se realicen en profundidades inferiores a 200 metros⁷².</p>

⁷² DECRETO 2041, POR EL CUAL SE REGLAMENTA EL TÍTULO VIII DE LA LEY 99 DE 1993 SOBRE LICENCIAS AMBIENTALES, Artículo 8°, numeral 1 ítem a, 15 de octubre de 2012., p. 6. En línea: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/34-DECRETO%202041%20DEL%2015%20DE%20OCTUBRE%20DE%202014.pdf>

Tabla 10- Síntesis de la Normatividad para EIA de los países Casos de Estudio

Legislación que reglamenta la presentación de EIA- Estudios de impacto ambiental para la aprobación de realización de adquisición sísmica costa afuera.					
País	Zonas de estudio	Normatividad	Observaciones	¿Requiere estudio de impacto ambiental previo?	
				SI	NO
Argentina	Golfo de san Jorge (costa Atlántica de Argentina)-flanco sur y flanco este	Resolución SE 105/92			
		Ley 2658, Ley de la evaluación de impacto ambiental			
Perú	Región de la franja costera del Perú Tumbes Tacna	Decreto Supremo N° 039-2014-EM			
	Lote Z-48				
	Lote Z-1				
	Lote Z-46				
México	Golfo de México - península de Yucatán	DOF 09-01-2015			
España	Mar Balear	Ley 21/2013, de 9 de Diciembre	Requiere una evaluación de impacto ambientales simplificada		
	Canarias				
	Austrias				
	Mar de Albarán				
Colombia	Mar caribe – Mar pacifico	Decreto 2041 del 15 de Octubre de 2014	Para la expedición de licencias ambientales es necesario presentación de un EIA		

3. IDENTIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS GENERADOS POR LA ADQUISIÓN DE SÍSMICA COSTA AFUERA

La sísmica exploratoria costa afuera es una de las principales herramientas para determinar la presencia de hidrocarburos en el suelo marino por medio de ondas acústicas emitidas por cañones o pistolas de aire, el sonido penetra la tierra, reflejándose desde el subsuelo hasta la superficie de la capa de agua, estas reflexiones son captadas por hidrófonos que están unidos por cables; se registran y se envían al centro de registro de la embarcación.

La embarcación deberá contar con el certificado de prevención de la contaminación por hidrocarburos, expedido por la autoridad pertinente el cual será otorgado con previo reconocimiento e inspección asegurándose de cumplir con las normas nacionales y convenios internacionales.

Para prevenir los impactos en el agua por el transporte y demás procedimientos propios de la embarcación, principalmente debido al descargue de aguas servidas (procedentes de vertidos cloacales, de instalaciones de saneamiento), aguas de lastre (empleadas para mantener el equilibrio de la embarcación), posibles residuos oleosos y fluidos residuales o derrames accidentales de combustible en el abastecimiento de la embarcación sísmica en el puerto y/o embarcaciones de apoyo, se deberá contar con planes de contingencia ante dichas circunstancias. Además, se efectuará el descargue del agua de sentina en puerto mediante sistemas de bombeo u otro autorizado por las autoridades portuarias, se realizará un tratamiento de separación de residuos de acuerdo a los protocolos internacionales, el agua de lastre será renovado fuera de las 12 millas náuticas a la costa antes del ingreso de la embarcación a puerto, llevando un registro de los volúmenes descargados con concentraciones no mayores a los 15 ppm. En caso de superar dicha concentración, deberá ser tratado en la embarcación, de acuerdo a la norma nacional vigente.

Cabe resaltar que todos los procedimientos anteriormente expuestos son requisitos legales para cualquier embarcación, por lo cual no se tuvo en cuenta para realizar el análisis de los impactos ambientales significativos en los programas sísmicos de exploración costa afuera y nos enfocamos en los efectos propios de la descarga de los cañones de aire comprimidos utilizados en las campañas sísmicas, cuya primordial causa es la intensidad con que son emitidas las ondas acústicas.

3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS IDENTIFICADOS EN LOS ESTUDIOS DE CASOS.

Los impactos ambientales estudiados por los autores en los casos de estudios seleccionados de adquisiciones sísmicas fueron tipificados en cinco grupos según la magnitud del efecto causado en la fauna marina. Es notable destacar que no se consideró significativo el impacto generado en los lechos de agua por el transporte de la embarcación científica, debido a que el mismo es igual o menor al de un crucero comercial y son un requisito legal de cualquier tipo de embarcación.

Los tipos de impactos a continuación descritos fueron elegidos por los autores luego de efectuar la debida revisión bibliográfica y selección técnica para la realización del presente trabajo de investigación.

3.1.1. Efectos crónicos. Hacen referencia a efectos letales producidos por las ondas sonoras en las especies marinas que habitan el área de estudio, en esta categoría encontramos:

Tabla 11 - Efectos crónicos Identificados y su soporte Técnico

Efecto	Estudios que sustentan la veracidad del efecto
Detención en el desarrollo de los Huevos y Reducción	MANDRAK Nicholas E., CUDMORE Becky Risk Assessment for Asian Carps in Canada. Fisheries and Oceans Canada. Great Lakes Laboratory for Fisheries and Aquatic Sciences. 2004 [En línea] http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/DocRec/2004/RES2004_103_E.pdf , Disponible: Noviembre de 2017

en el Crecimiento de las Larvas	CHRISTIAN Jhon R. et Al. Effect of Seismic Energy on Snow Crab. Environmental Studies Research Fund. November 7 of 2003. [En línea] https://www.pge.com/includes/docs/pdfs/shared/ed_usafety/systemworks/dcpp/christian_et_al_2003_effect_of_seismic_energy_on_snow_crab.pdf Disponible: Noviembre de 2017
Mortalidad a distancia cercana del punto de emisión del arreglo de pistolas de aire	MOEIN Soraya E. et al. Evaluation of Seismic sources for repelling sea turtles from Hopper Dredges. The Virginia Institute of Marine Science College of William and Mary Gloucester Point. 1994, [En línea] https://books.google.com.co/books/about/Evaluation_of_Seismic_Sources_for_Repell.html?id=IZDYNQAACAAJ&redir_esc=y
	SHARP L. (2011) A Review of Effects of Seismic Testing on Marine Fish and Fisheries as Applied to the DCPP 3-D Seismic Project. Report prepared for Tenera Environmental.
	LØKKEBORG S. & A.V. SOLDAI (1993). The influence of seismic exploration with airguns on cod (<i>Gadus morhua</i>) behaviour and catch rates. ICES mar. Sci. Symp., 196: 122-127
	HOLLIDAY D. V., PIEPER R.E., CLARKE M.E. & C.F. GREENLAW (1987). The effects of air gun energy releases on the eggs, larvae and adults of the northern anchovy (<i>Engraulis mordax</i>). API Publication 4453. Report for Tracor Applied Sciences for American Petroleum Institute, Washington DC. 115 p.

3.1.2. Efectos físicos. En este grupo fueron catalogados los efectos que atentan contra la integridad física de la fauna marina causando daños generalmente irreversibles en la morfología de los individuos.

Tabla 12 - Efectos Físicos identificados y su soporte Técnico

Efecto	Estudios que sustentan la veracidad del efecto
Pérdida del 15% de las espinas	MATISHOV G.G. (1992) The Reaction of Bottom-Fish Larvae to Airgun Pulses in the Context of the Vulnerable Barent Sea Ecosystem. Fisheries and

	Offshore Petroleum Exploitation 2nd International Conference, Bergen, Norway, 6–8 April.
Daño en los tejidos de los órganos viscerales, como cráneo y Caparazón	ANDRÉ M., SOLÉ M., LENOIR M., DURFORT M., QUERO C., MAS A., LOMBARTE A., VAN DER SCHAAR M., LÓPEZ- BEJAR M., MORELL M, ZAUGG S. & L. HOUÉGNIGAN (2011). Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. <i>Frontiers in Ecology and the Environment</i> , November, Vol. 9, No. 9 : 489-493.
Daños a tejidos de las estructuras auditivas, pérdida permanente del umbral auditivo	McCAULEY Robert, et Al. Marine seismic surveys: Analysis and Propagation of Air-Gun Signals; and effects of air-gun exposure on humpback whales, sea turtles, fishes and squid. Australian Petroleum Production Exploration Association. August 2000. [En línea] http://cmst.curtin.edu.au/wp-content/uploads/sites/4/2016/05/McCauley-et-al-seismic-effects-2000.pdf . Consultado: Noviembre 2017
	FEWTRELL J.L. & R.D. MCCAULEY (2012). Impact of air gun noise on the behaviour of marine fish and squid. <i>J.L. Marine Pollution Bulletin</i> , (64): 984-993.
Cambios Temporales en el Umbral de Audición	WALE M.A., SIMPSON S.D. & A.N. RADFORD (2013). Noise negatively affects foraging and antipredator behaviour in shore crabs. <i>Animal Behaviour</i> , 86: 111-118.
Daños a tejidos vitales del cuerpo debido a aeroembolismos	MCCAULEY R.D., FEWTRELL J., DUNCAN A.J., JENNER C., JENNER M.-N., PENROSE J.D., PRINCE R.I.T., ADHITYA A., MURDOCH J. & K MCCABE (2000). Marine Seismic Surveys: Analysis and Propagation of Air Gun Signals; and the Effects of Exposure on Humpback Whales, Sea Turtles, Fishes and Squid. Centre for Marine Science and Technology, Curtin University, Perth, Western Australia, p. 185
Enfermedad del Buzo (Síndrome de Up)	OCEANA. Alegaciones Campaña Sísmica 2D en Áreas Libres del Mediterráneo Noroccidental – Mar Balear. Contestación consulta sobre Proyecto 20130253PHC. Enero 2014

3.1.3. Efectos en el comportamiento. En esta categoría fueron agrupados los impactos que inducen un cambio conductual en las especies ya sea de forma individual o grupal.

Tabla 13 - Efectos de Comportamiento Identificados y su soporte Técnico

Efecto	Estudios que sustentan la veracidad del efecto
Desviación de la Ruta Normal de migración	IWC - INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. (2005). Report of the Scientific Committee. Annex K. report of the Standing Working Group on Environmental Concerns. Journal of Cetacean Research and Management, (Suppl) 7, 267-305.
	RICHARDSON W.J., GREENE C.R., JR., MALME C.I., & D.H. THOMSON (1995). Marine mammals and noise. New York: Academic Press, 576 pp.
	CASTELLOTE, M. CLARK, C.W., LAMMERS M.O. "Potential negative effects in the reproduction and survival on fin whales (<i>Balaenoptera physalus</i>) by shipping and airgun noise." International Whaling Commission report SC/62/E3 - 2010
	PRACA E., GANNIER A., DAS K & S. LARAN (2009). Modelling the habitat suitability of cetaceans: Example of the sperm whale in the northwestern Mediterranean Sea. Deep-Sea Research I, 56: 648-657.
Dificultad para la eco-localización	McCAULEY R.D., FEWTRELL J., DUNCAN A.J., JENNER C., JENNER M.-N., PENROSE J.D., PRINCE R.I.T., ADHITYA A., MURDOCH J. & K McCABE (2000). Marine Seismic Surveys: Analysis and Propagation of Air Gun Signals; and the Effects of Exposure on Humpback Whales, Sea Turtles, Fishes and Squid. Centre for Marine Science and Technology, Curtin University, Perth, Western Australia, p. 185.

Disminución en su Ciclo reproductivo	SLOTTE A., HANSEN K., DALEN J. & E. ONA (2004). Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. <i>Fish. Res.</i> 67: 143–150. doi: 10.1016/j.fishres.2003.09. 046.
	ANDRÉ M., SOLÉ M., LENOIR M., DURFORT M., QUERO C., MAS A., LOMBARTE A., VAN DER SCHAAR M., LÓPEZ- BEJAR M., MORELL M, ZAUGG S. & L. HOUÉGNIGAN (2011). Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. <i>Frontiers in Ecology and the Environment</i> , November, Vol. 9, No. 9: 489-493.

3.1.4. Efectos perceptivos. Fueron enmarcados aquellos efectos que causan en la fauna marina un cese de sus actividades rutinarias o actividades propias para su supervivencia, causados por la percepción de la alteración en su habitad y son registrados por parte de los Observadores de mamíferos marinos.

Tabla 14 - Efectos Perceptivos identificados y su soporte Técnico

Efecto	Estudios que sustentan la veracidad del efecto
Interrupción en la Alimentación	McCAULEY R.D., FEWTRELL J. & A.N. POPPER (2003). High intensity anthropogenic sound damages fish ears. <i>J. Acoust. Soc. Am.</i> 113: 638–642. doi:10.1121/1.1527962. PMID:12558299
Evasión o escape de la onda sísmica	McCAULEY R.D., FEWTRELL J., DUNCAN A.J., JENNER C., JENNER M.N., PENROSE J.D., PRINCE R.I.T., ADHITYA A., MURDOCH J. & K. McCABE (2000) Marine seismic surveys: A study of environmental implications. <i>APPEA Journal</i> 40: 692–708 Marine seismic surveys: A study of environmental implications.
Alteración en la capacidad de comunicación en la especie	R.D., FEWTRELL J., DUNCAN A.J., JENNER C., JENNER M.-N., PENROSE J.D., PRINCE R.I.T., ADHITYA A., MURDOCH J. & K McCABE (2000). <i>Marine Seismic Surveys: Analysis and Propagation of Air Gun Signals; and the Effects of Exposure on Humpback Whales, Sea Turtles, Fishes and Squid.</i> Centre for Marine Science and Technolgy, Curtin University, Perth, Western Australia, p. 185.

3.1.5. Efectos Indirectos: Dentro de esta categoría fueron incluidos aquellos impactos que son provocados por las ondas sísmicas, no causan daños físicos, crónicos o comportamentales en las especies, pero alteran la rutina de la especie o su libre desarrollo; mantienen una relación de causalidad después de ejecutar la campaña exploratoria.

Tabla 15 Efectos indirectos

Efecto	Estudios que sustentan la veracidad del efecto
Disminución en la abundancia Poblacional	HASSEL A., KNUTSEN T., DALEN J. SKAAR K., LØKKEBORG S., MISUNF O.A., OSTENSEN O, FONN M. & E.K. HAUGLAND. (2004) Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (<i>Ammodytes marinus</i>). ICES J Mar Sci 61:1165–1173.
	ENGAS A., LOKKERBORG S., ONA E. & A.V. SODAL (1996) Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (<i>Gadus morhua</i>) and haddock (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>). <i>Can J. Fish. Aquat. Sci.</i> ,53(10): 2238-2249.
	SKALSKI J.R., PEARSON W.H. & C.I. MALME (1992). Effects of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (<i>Sebastes</i> spp.). <i>Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science</i> 49:1357_1365.
Desorientación	OCEANA. Alegaciones Campaña Sísmica 2D en Áreas Libres del Mediterráneo Noroccidental – Mar Balear. Contestación consulta sobre Proyecto 20130253PHC. Enero 2014

3.2. IDENTIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE IMPACTOS SIGNIFICATIVOS Y ESPECIES EN LOS CASOS DE ESTUDIO.

3.2.1. Identificaciones de especies en las áreas de estudio y clasificación taxonómica. Para el presente trabajo de investigación los autores identificaron las especies presentes en las áreas de estudios en las que se llevó a cabo adquisiciones sísmicas. Las especies se identifican por su nombre común y científico, posteriormente se procedió a realizar una lista de impactos por especie de cada caso de estudio; solo se seleccionaron los impactos debidamente respaldados por documentación técnica publicadas por su autor, los cuales hacen parte de la bibliografía del presente trabajo de investigación.

3.2.2. Tipificación de especies por grupos taxonómicos e impactos significativos. En segundo lugar, se cotejaron las especies y los impactos analizados con cada una de las listas resultantes por caso de estudio. Lo que dio como resultado el complemento de impactos de afectación por especies; es decir, a cada especie o cada especie o grupo de especies se les asignó uno o más impactos y por ende el tipo de efecto, soportado en documentación técnica y científica.

3.2.2.1. Grupos taxonómicos identificados: para realizar la tipificación de especies estudiadas en las áreas de prospección sísmica costa afuera, fue necesario agruparlas según su taxonomía con el objetivo de elaborar un análisis de impactos a los que son sensibles los diferentes grupos taxonómicos.

- **Mamíferos:** son una clase de vertebrados de sangre caliente, poseen glándulas mamarias productoras de leche con las que alimentan a las crías.
- **Actinopterygii:** hacen referencia a una clase de peses óseos, que poseen aletas con espinas radiales en su cuerpo.
- **Osteichthyes:** hacen referencia a la clase especies óseas, que poseen como característica general una mandíbula.
- **Reptiles:** son una especie vertebrada que carecen de patas o poseen patas cortas y se caracterizan por ser una especie de sangra fría.

- **Aves:** son una especie vertebrada, que poseen extremidades anteriores conocidas como alas, como medio de reproducción ponen huevos y su cuerpo está recubierto por plumas.
- **Malacostráceos:** son un subgrupo de crustáceos, que poseen su cuerpo recubierto de una concha blanda.
- **Equinoideos:** comúnmente conocidos como erizos de mar.
- **Moluscos:** son invertebrados protóstomos* celomados**, que incluyendo a especies como los pulpos, las babosas, los calamares, los mejillones y las almejas.

A continuación, se presenta la matriz creada por los autores donde se plasma el resultado de la identificación y tipificación de los impactos; se plasmó teniendo en cuenta la clasificación taxonómica de especies de hábitad marina y el estado de conservación de la misma.

La metodología usada para la Identificación y tipificación de los impactos ambientales presentados en la matriz está basada en las recomendaciones de Vitoria Conesa Fernández⁷³ para evaluación de impactos ambientales.

*Protóstomos: Grupo de metazoos de simetría bilateral en los cuales la boca deriva de blastóporo primitivo.

**Celomados: Son animales triblásticos (son animales, metazoos en cuyo desarrollo embrionario temprano se diferencian tres hojas embrionarias o capas de tejido embrionario: ectodermo, endodermo y mesodermo) poseedores de celomas al menos durante su fase embrionaria.

⁷³ CONESA Fernández V. Guía Metodológica para la evaluación del Impacto Ambiental. Segunda Edición. Madrid, España. 1993

Figura 13 - Matriz de Identificación y Tipificación General

(Ver Anexo Adjunto en el CD y puede visualizarlo en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

			IDENTIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS															
			Tipos de Efectos															
			Efectos Físicos			Efectos crónicos		Efectos en el Comportamiento		Efectos Perceptivos		Efectos Indirectos						
Especies Involucradas			Perdida del 15% de las especies	Daño en los tejidos de los organismos por cambios de temperatura y Caparazón.	Daños a tejidos de las estructuras esqueléticas, alteración del comportamiento ambiental, pérdida de la audición.	Cambios Temporales en el Umbral de Audición.	Daños a tejidos vitales del cuerpo debido a aeromboatón.	Enfermedad del Bazo (Sistrome de Up).	Deficiencia en el desarrollo de los Huevos y Reducción en el Crecimiento de las Larvas.	Mortalidad a distancia ocasionada del punto de emisión del arreglo de pilas de aire.	Desviación de la Ruta Normal de migración.	Dificultad para la geolocalización.	Disminución en su Ciclo reproductivo.	Interrupción en la Alimentación.	Evasión o escape de la onda sísmica.	Alteración en la capacidad de comunicación en la especie.	Disminución en la abundancia Poblacional.	Desorientación.
Clases Taxonómicas	Nombre Común	Nombre Científico																
Mamíferos	Ballena Azul	<i>Balaenoptera musculus</i>																
	Ballena Bryde	<i>Balaenoptera Brydei</i>																
	Ballena Franca Austral	<i>Eubalaena australis</i>																
	Ballena Franca del Norte	<i>Eubalaena glacialis</i>																
	Ballena Gris	<i>Eschrichtius robustus</i>																
	Ballena Jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>																
	Rorcual Aliblanco	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>																
	Rorcual Boreal	<i>Balaenoptera borealis</i>																
	Rorcual Común - Ballena de Aleta	<i>Balaenoptera physalus</i>																
	Rorcual de Bryde	<i>Balaenoptera Brydei</i>																
	Cachalote Común	<i>Physeter macrocephalus</i>																
	Cachalote Negro	<i>Kogia simus</i>																
	Cachalote Pigeo	<i>Kogia breviceps</i>																
	Calderón Gris - Delfín Gris	<i>Grampus griseus</i>																
	Calderón Tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>																
	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>																
	Delfín Girador - Acrobata	<i>Stenella longirostris</i>																
	Delfín de Hocico Estrecho	<i>Steno bredanensis</i>																
	Delfín Manchado del Atlántico	<i>Stenella frontalis</i>																
	Delfín Manchado Tropical	<i>Stenella attenuata</i>																
	Delfín Mular	<i>Tursiops truncatus</i>																
	Orca Común	<i>Orcinus orca</i>																
	Orca Falsa	<i>Pseudorca crassidens</i>																
	Orca Pigmea	<i>Feresa attenuata</i>																
	Zifio Cuvier - Común	<i>Ziphius cavirostris</i>																
	Zifio de Blainville	<i>Mesoplodon densirostris</i>																
	Foca Enapachada	<i>Cystophora cristata</i>																
	Leones Marinos	<i>Otaria flavescens</i>																
	Lobo Marino Chusco - de un Pelo	<i>Otaria flavescens</i>																
	Lobo Marino de dos Pelos	<i>Arctophoca australis</i>																
Humanos	<i>Homo sapiens</i>																	
Peces	Anchoveta	<i>Engraulis ringens</i>																
	Bacalao del Atlántico - Común	<i>Gadus morhua</i>																
	Edelweiss	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>																
	Goldfish o carpín dorado	<i>Carassius auratus</i>																
	Lenguado	<i>Solea solea</i>																
	Lisa	<i>Liza ramada</i>																
	Merluza Argentina	<i>Merluccius hubbsi</i>																
	Merluza Común - del Pacífico Sur	<i>Merluccius gayi</i>																
	Pez Bonito	<i>Sarda sarda</i>																
	Salmón Americano	<i>Salmo salar</i>																
	Sardina	<i>Sardina pilchardus</i>																
	Idioplancton	<i>Idioplancton</i>																
	Ahuín Común	<i>Trachurus trachurus</i>																
	Jurel	<i>Trachurus trachurus</i>																
	Pez Español	<i>Xiphias oxiphius</i>																
Reptiles	Tortuga Blanca - Tortuga Verde	<i>Chelonia mydas</i>																
	Tortuga Boba - Común	<i>Caretta caretta</i>																
	Tortuga Carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>																
	Tortuga Dorado de Cuero - Laud	<i>Dermochelys coriacea</i>																
	Tortuga Lora	<i>Lepidochelys kempi</i>																
	Tortuga Pico de Loro	<i>Lepidochelys olivacea</i>																
Aves	Comoran Imperial	<i>Leucocorax atriceps</i>																
	Faltrisco tricolor	<i>Phaethopus fulicaria</i>																
	Guaray	<i>Phalacrocorax bougainvillii</i>																
	Gaviotas	<i>Oceanodroma leucorhoa</i>																
	Pelicano	<i>Pelecanus thagus</i>																
	Piquero Magallanes - Patagónico	<i>Scolopax magellanicus</i>																
Malacostráceos	Piquero Peruano	<i>Sula variegata</i>																
	Rabujunco de Pico Rojo	<i>Alca torda</i>																
Langostino		<i>Penaeus kerathurus</i>																
Crustáceos		CRUSTACEA																
Equinoideos	Erizo de Mar	<i>Mesocentrotus franciscanus</i>																
Moluscos		MOLLUSCA																

3.3. ANÁLISIS DE IMPACTOS

El método utilizado por los autores para el análisis de impactos significativos generados por la corrida de adquisiciones sísmicas fue realizado a partir de la recolección de información de casos y procesamiento de data obtenida representado en matrices.

La data está compuesta por estudios de posibles impactos a la fauna marina en aguas internacionales. Se identifican las especies que habitan el área donde se lleva a cabo las prospecciones, periodo de adquisición de los datos sísmicos, descripciones técnicas del equipo sísmico, descripciones técnicas del buque sísmico, duración del estudio, extensión del área afectada y profundidad promedio de la columna de agua en la zona de adquisición.

A continuación, se citan los nombres de los casos de estudio analizados:

- Caso I: Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera-Bloque Centro Golfo San Jorge y plan de contingencia. Argentina.
- Caso II: Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional de Yucatán Golfo de México 9 de junio al 13 de Julio de 2004.
- Caso III: EIA Proyecto levantamiento sísmico 2D Y 3D regional de la franca costera del Perú Tumbes-Tacna.
- Caso IV: Alegaciones campaña sísmica 2D en áreas libres del Mediterráneo Noroccidental-Mar Balear.
- Caso V: Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales PETRO TECH-Perú.
- Caso VI: Estudio de impacto ambiental: proyecto de “Levantamiento sísmico 3D en el lote Z-1 Región de Tumbes y Plan de Manejo Ambiental”.
- Caso VII: Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD, Y 3D y perforación exploratoria en el lote Z-46-Peru y plan de manejo ambiental.

- Caso VIII: Impactos de las prospecciones petrolíferas en agua españolas.

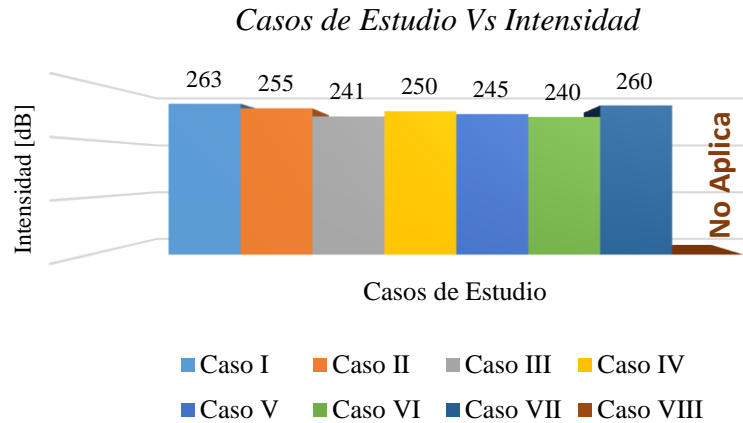
En la siguiente tabla se registra la data disponible para cada caso de estudio:

Tabla 16- Elementos de la data de los casos de estudio de prospecciones sísmicas costa afuera.

Ítem Caso de estudio	Ubicación	Duración	Extensión	Impactos Generados	Identificación de fauna poblacional	Intensidad de la fuente sonora	Profundidad de área de afectación
Caso I	×	×	×	×	×	×	×
Caso II	×	×	×	×	×	×	×
Caso III	×	×	×	×	×	×	×
Caso IV	×	×	×	×	×	×	×
Caso V	×	×	×	×	×	×	×
Caso VI	×	×	×	×	×	×	×
Caso VII	×	×	×	×	×	×	×
Caso VIII	×		×	×	×		

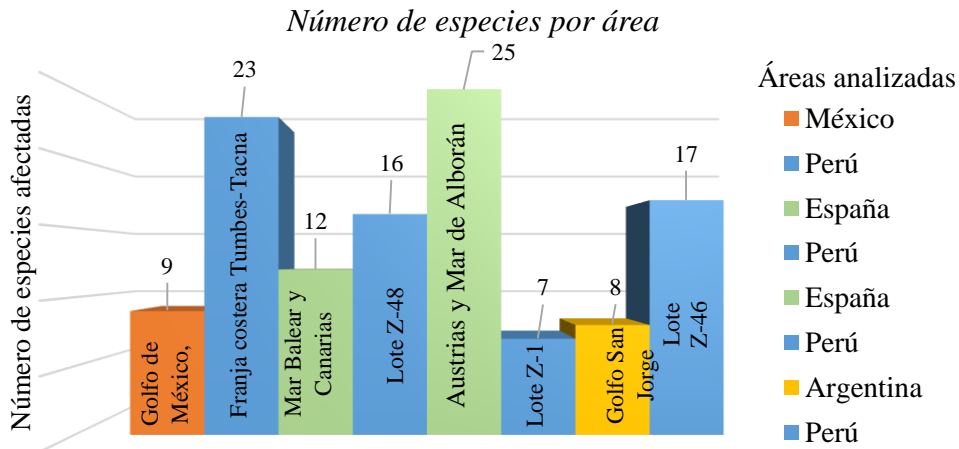
3.3.1. Análisis por intensidad de la fuente sísmica. Como se puede observar la intensidad de las pistolas de aire utilizadas en las adquisiciones sísmicas en las diferentes zonas o bloques de estudio no presentan una variabilidad mayor al +/- 10 dB, siendo el caso VII el de menor decibeles emitidos por los cañones sísmicos.

Gráfica 1 - Análisis por intensidad de la fuente sísmica



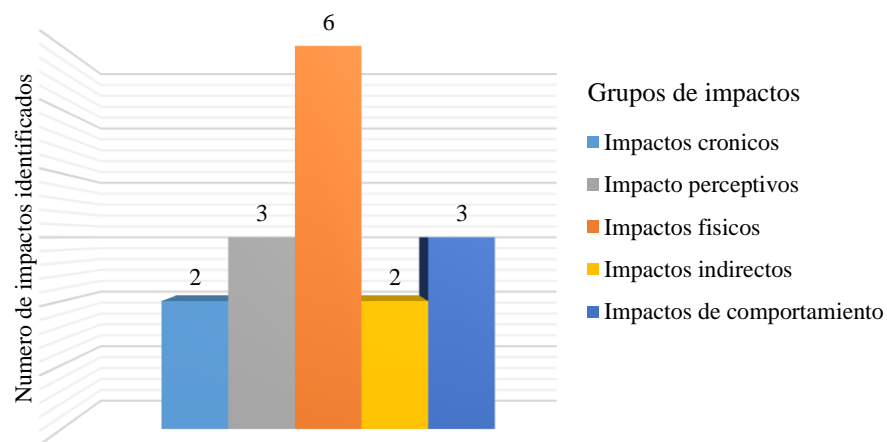
3.3.2. Análisis por número de especies que habitan el área afectada: al observar la gráfica se puede concluir que se identifican más especies en agua de Perú con una frecuencia del 54% debido a la profundidad significativa de la columna vertical de agua, seguida de las especies avistadas en territorio español.

Gráfica 2 - Análisis por número de especies que habitan el área afectada.



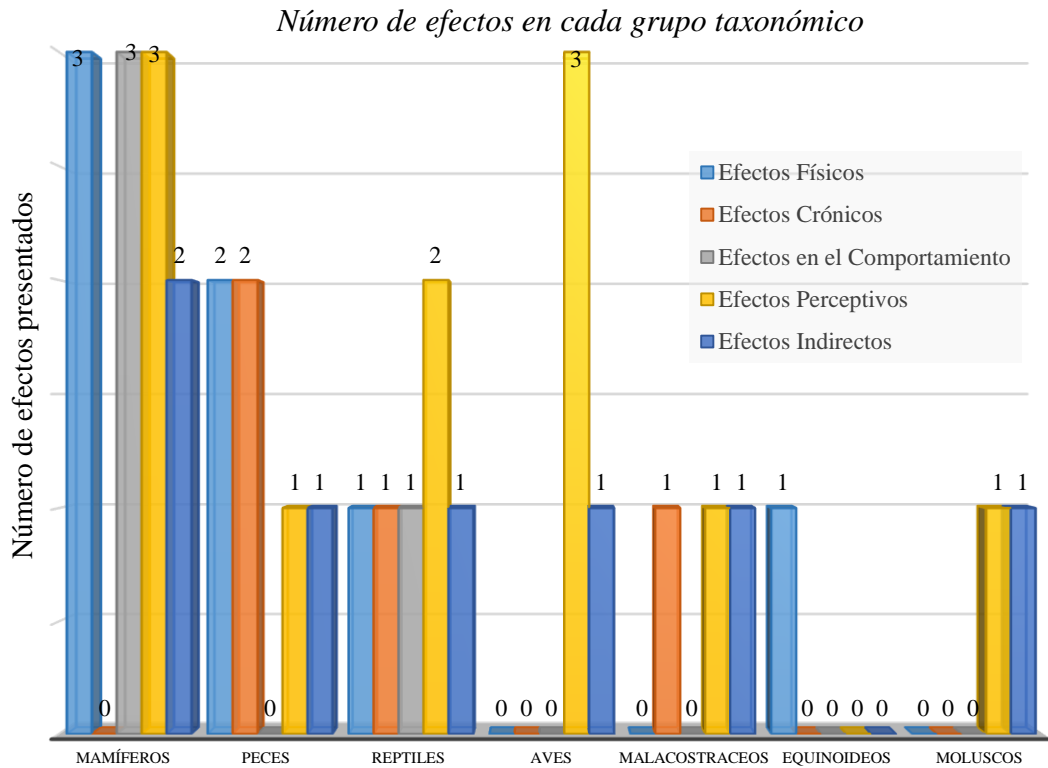
3.3.3. Análisis por tipificación de impactos. De los casos de estudios analizados por los autores, se puede observar que los impactos que producen daños en la fisionomía de las especies son los más recurrentes a causa de las corridas sísmicas costa afuera, mientras que los impactos crónicos e impactos indirectos son los menos presentados. Es importante aclarar que pese a estos dos tipos de impactos sean lo menos recurrentes, los impactos crónicos son de mayor gravedad pues su efecto es fatal e irreversible.

Gráfica 3 - Análisis por tipificación de impactos



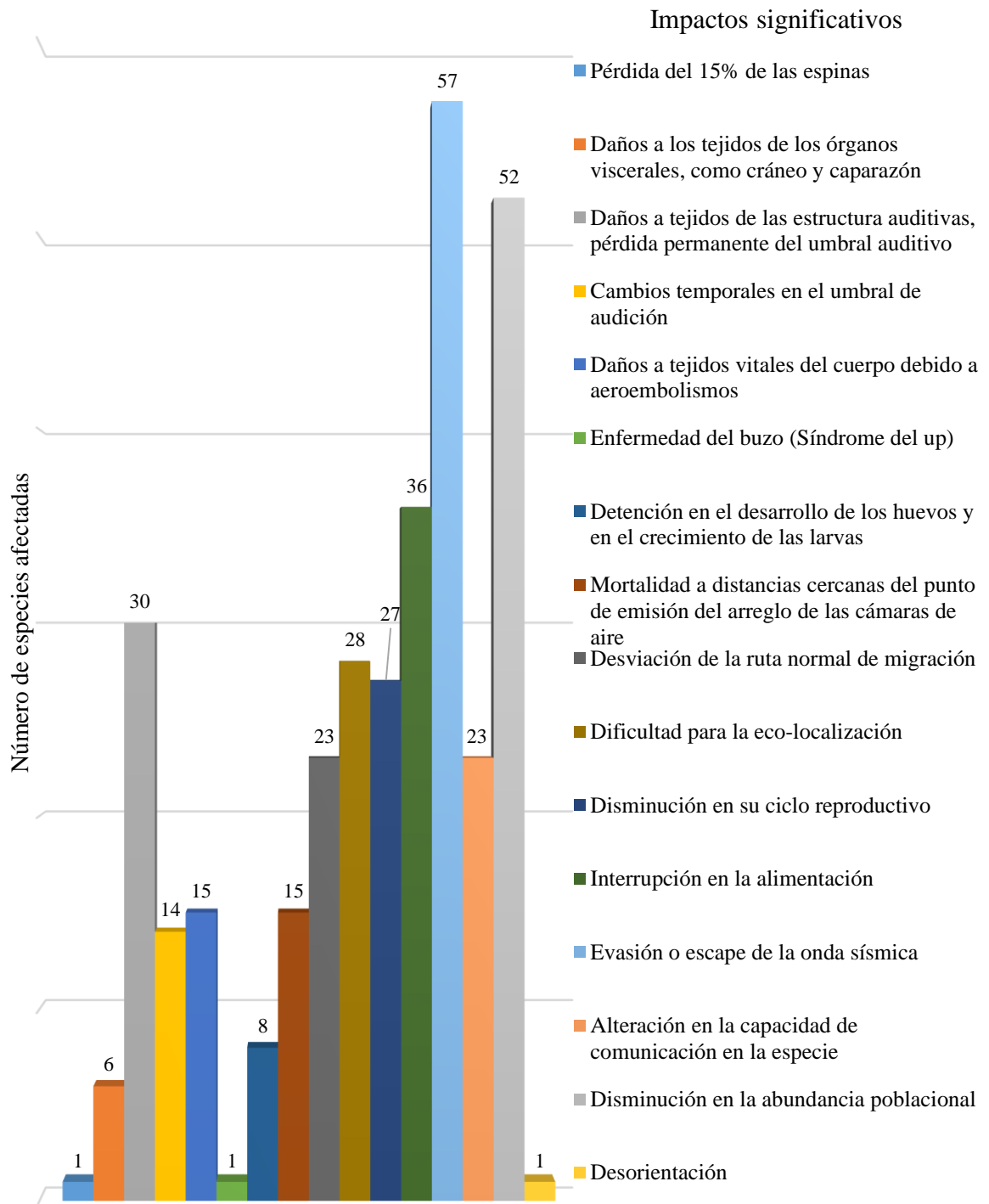
3.3.4. Análisis por grupo taxonómico de especies. Como se puede observar, los equinoideos es el grupo taxonómico en el cual se ha identificado solo un impacto de tipo físico. Esta condición puede darse debido a su compleja fisionomía y a la falta de estudios realizados en ellos, mientras que en las tortugas (reptiles) se han identificado como especies susceptibles a sufrir todo tipo de efecto y son los únicos junto con los mamíferos que sufren impactos de tipo comportamental. En los casos de estudios analizados por los autores del presente proyecto de investigación se identificó que los mamíferos se encuentran en el mayor número de estudios y se les asigna el 69% de los 16 impactos identificados. El efecto más recurrente en las aves es de tipo perceptivo.

Gráfica 4 - Análisis por grupo taxonómico de especies



3.3.5. Análisis individual de impacto. En la gráfica se puede observar que de los 16 impactos analizados en los casos de estudios, los que más afectan a la fauna marina al correr la sísmica costa fuera son: evasión y escape de la onda sísmica con una frecuencia del 89% en las 64 especies analizadas, disminución de la abundancia poblacional con una frecuencia del 81%; impactos denominados de tipo temporal; mientras que efectos como la desorientación, enfermedad del buzo y pérdidas de lo espinas son efectos propios de una especie en particular, debido a su estructura fisiológica.

Gráfica 5 - Análisis individual de impactos



3.4. IDENTIFICACION DE ESPECIES EN AGUAS MARÍTIMAS COLOMBIANAS.

Para contextualizar la investigación en Colombia, se complementa con un objetivo adicional donde los autores consideraron que era de gran importancia la identificación de avistamientos en agua marítimas en su jurisdicción con las definidas de la Matriz 1, figura 13, con el propósito de enfatizar en los posibles efectos que pudieran estar sucediendo en aguas nacionales, debido a las diferentes adquisiciones sísmicas, llevado a cabo por entes privados y nacionales según la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH.

La fauna marítima colombiana identificada se presenta en la figura 14.

3.4.1. Herramienta utilizada en la identificación de la fauna marina en aguas colombianas. Presentados a continuación:

- Visor Geográfico: El INVEMAR como instituto de investigaciones marinas y costeras a través del *SIAM - Sistema de Información Ambiental Marina* ha desarrollado un visor geográfico de acceso público que permite el análisis y gestión de información de los recursos marinos.
- Reportes *Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH*: presenta las adquisiciones sísmicas realizadas en aguas marítimas colombianas a partir del año 2010. A criterio de los autores se seleccionó la data pública encontrada en la página web: www.anh.gov.co de la ANH. Se seleccionó a partir del año 2010, ya que en años anteriores este informe no especificaba en que bloque se había realizado la adquisición sísmica, solo daba a conocer si se había corrido en aguas del mar caribe o del pacífico colombiano.

3.4.2. Realización de la búsqueda en el Visor Geográfico. Para búsqueda en el visor geográfico del *SIAM - Sistema de Información Ambiental Marina*, el usuario debe realizar los siguientes pasos:

Paso 1. Ingresar a la página web: <http://siam.invemar.org.co/sibm>.

Paso 2. Dar clic en la opción “Registro Biológico (Avistamiento o captura de organismos marinos (flora, fauna, etc.)

Paso 3. Realizar la búsqueda de registro biológico marino. La herramienta le permite al usuario seleccionar el filtro de búsqueda de su agrado. Por criterio de los autores el filtro más apropiado y el cual fue utilizado para la ejecución del presente trabajo de investigación fue el “taxonómico”; ya que permite una exploración por nombre común, genero, especie, familia, orden, clase, dominio/reino, phylum o autor de especie.

Paso 4. La herramienta le facilita al usuario luego de introducir el filtro de búsqueda, el resultado guardado en su base de datos, donde el usuario podrá encontrar un archivo Excel descargable con los registros de avistamiento de la especie y un enlace al visor geográfico donde se puede observar la ubicación de la especie dentro de la jurisdicción colombiana.

3.4.3. Características del Visor Geográfico utilizadas por los autores. Para la identificación de especies en Colombia los autores recurrieron a la opción “capa base-bloque de tierras ANH 2016”, esta herramienta le facilita al usuario la visualización de especies por división de bloque disponibles, en exploración, en producción, reservado o evaluación técnica. Ver figura 15 y 16.

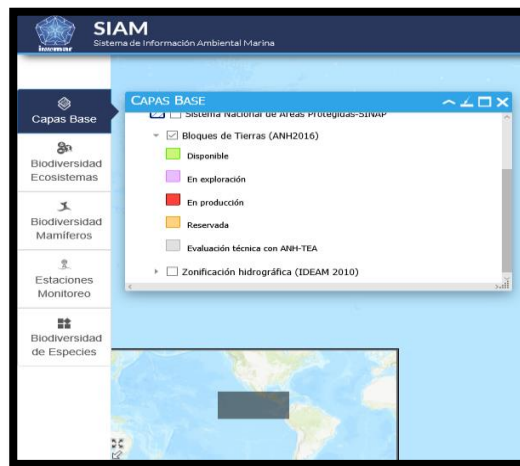
En la figura 14 se puede observar las especies que habitan las aguas marítimas colombianas, en que bloque del mapa de tierras de la ANH del 2016 están ubicadas, y en la figura 17 a que cuenca pertenece el bloque, su profundidad promedio, que operadora realizo el programa de adquisición sísmica, en que año y la extensión del programa.

Figura 14 - Ubicación de especies identificadas en aguas marítimas colombianas.

(Ver Anexo Adjunto en el CD y puede visualizarlo en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

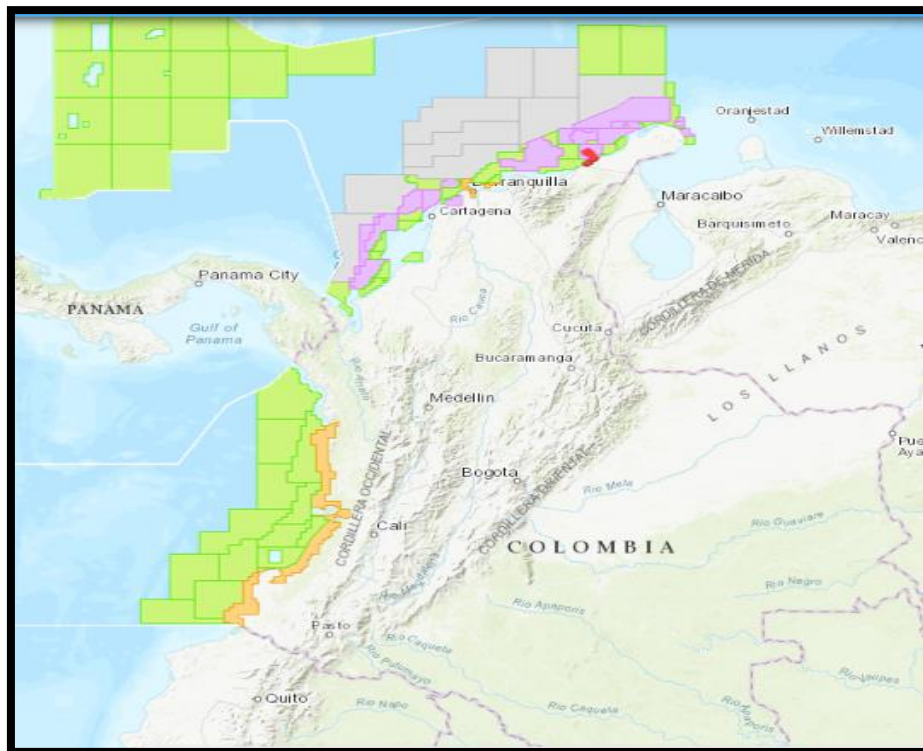
ESPECIES PRESENTES EN COLOMBIA DE LAS IDENTIFICADAS EN LOS CASOS DE ESTUDIO																
CUENCA	BLOQUE	ESPECIE	CUENCA	BLOQUE	ESPECIE	CUENCA	BLOQUE	ESPECIE	CUENCA	BLOQUE	ESPECIE					
Cayos	Cayos 1	Delfin Mular	Colombia	COL-1	Calderon Tropical	Guajira Offshore	RC-9	Delfin Manchado del Atlántico	Sinú Offshore	SIN OFF-7	Delfin Manchado Tropical					
	Cayos 2	Delfin Manchado Tropical			Delfin girador - Acróbata			Delfin Mular			Delfin Manchado Tropical					
	Cayos 5	Delfin Mular			Delfin Manchado del Atlántico			Atún Común			Delfin Manchado Tropical					
	Cayos 6	Delfin Manchado Tropical			Delfin Manchado Tropical			Calderon Tropical			Atún Común					
	Cayos 9	Ballena Jorobada			Orca falsa			Delfin Manchado del Atlántico			Calderon Tropical					
	Cayos 10	Delfin girador - Acróbata			Delfin Manchado del Atlántico			Delfin Manchado Tropical			Delfin Manchado del Atlántico	Delfin Manchado Tropical				
		Delfin Manchado Tropical			Delfin Mular			Calderon Tropical			Atún Común	Ballena Jorobada				
	Cayos 11	Cachalote Común			Cachalote Común			Calderon Tropical			Delfin girador - Acróbata	Cachalote Común				
	Cayos 13	Atún Común			Calderon Tropical			Delfin girador - Acróbata			Delfin Manchado del Atlántico	Delfin Común				
	Caribe	-			Cachalote Común			COL-3			Delfin Manchado del Atlántico	RC-11	Delfin Manchado Tropical	Tumaco Offshore	TUM OFF-1	Delfin Manchado Tropical
		-			Pez Bonito						Delfin Mular		Orca falsa			Atún Común
Chocó Offshore	CHO OFF-1	Ballena Jorobada	COL-4	Delfin girador - Acróbata	RC-12	Delfin girador - Acróbata	Tumaco Offshore	TUM OFF-2	Delfin Manchado Tropical							
		Rorcuál Aliblanco		Delfin Manchado del Atlántico		Delfin Manchado del Atlántico			Delfin Mular							
		Cachalote Común		Delfin Manchado Tropical		Cachalote Común			Orca común							
		Delfin Común		Orca falsa		Calderon Tropical			Zifio Cuvier - Común							
		Delfin girador - Acróbata		Ballena Jorobada		Delfin girador - Acróbata			Pez Espada							
	Delfin Manchado Tropical	Cachalote Común	Delfin Manchado del Atlántico	Ballena Jorobada												
	Delfin Mular	Orca falsa	Calderon Tropical	Delfin Manchado Tropical	Ballena Jorobada											
	Orca falsa	Delfin Manchado del Atlántico	Delfin Manchado Tropical	Delfin Mular	Cachalote Común											
	CHO OFF-2	Ballena Jorobada	COL-8	Delfin Manchado del Atlántico	Tayrona	Delfin Manchado Tropical	TUM OFF-3	Ballena Jorobada								
		Rorcuál Aliblanco	Calderon Tropical	Orca común		Delfin Manchado Tropical										
		Cachalote Común	Delfin girador - Acróbata	Balena Azul		Delfin Manchado Tropical										
		Delfin Común	Delfin girador - Acróbata	Rorcuál Boreal		Zifio Cuvier - Común										
	Delfin Manchado Tropical	Delfin Mular	Delfin Manchado Tropical	Rorcuál Común - Ballena de Aleta	Pez Espada											
	Delfin Mular	Orca falsa	Delfin Mular	Cachalote Enano	Ballena Jorobada											
	CHO OFF-3	Ballena Jorobada	Costa Caribe	-	Pacífico	-	TUM OFF-5	Delfin Manchado Tropical								
		Cachalote Común		Tortuga Blanca - Tortuga Verde		Delfin Común										
		Calderon Gris - Delfin Gris		Tortuga Boba - Caguama - Común - Cabezona		Delfin girador - Acróbata										
	Delfin Mular	Tortuga Carey	Tortuga Dorso de Cuero - Laud	Delfin Común	Ballena Jorobada											
	CHO OFF-4	Ballena Jorobada	Costa Pacífica	-	Fuerte Norte	Delfin girador - Acróbata	Urabá Offshore	URA-4	Ballena Jorobada							
		Cachalote Común		Tortuga Carey		Delfin girador - Acróbata										
		Calderon Gris - Delfin Gris		Tortuga Dorso de Cuero - Laud		Delfin Manchado Tropical										
		Delfin Mular		Tortuga Pico de Loro		Delfin Manchado Tropical										
		Ballena Jorobada		Crustáceos		Cachalote Común										
		Cachalote Enano		Delfin Manchado del Atlántico		Calderon Tropical										
Calderon Gris - Delfin Gris		Delfin Manchado Tropical		Delfin girador - Acróbata												
Delfin Común		Delfin Manchado Tropical		Delfin Mular												
Delfin girador - Acróbata		Delfin Manchado Tropical		Delfin Manchado del Atlántico												
Delfin Manchado Tropical		Delfin Mular		Delfin Manchado Tropical												
Delfin Mular	Delfin Manchado Tropical	Delfin Mular														
CHO OFF-5	Ballena Jorobada	Guajira Offshore	GUA OFF-1	Fuerte Sur	Delfin girador - Acróbata	SIN OFF-1	Delfin girador - Acróbata									
	Cachalote Común		Delfin Manchado del Atlántico		Delfin Manchado Tropical											
	Cachalote Enano		Delfin Manchado Tropical		Delfin Manchado Tropical											
CHO OFF-6	Delfin Común	GUA OFF-3	Delfin girador - Acróbata	SIN OFF-3	Delfin girador - Acróbata	SIN OFF-4	Delfin Manchado Tropical									
	Delfin girador - Acróbata		Delfin Manchado del Atlántico		Delfin Manchado Tropical											
	Delfin Manchado Tropical		Delfin Mular		Delfin Manchado Tropical											
Merayana	Ballena Jorobada	GUA OFF-5	Atún Común	SIN OFF-6	Calderon Tropical	SIN OFF-7	Calderon Tropical									
	Cachalote Común		Cachalote Común		Delfin Manchado Tropical											
	Cachalote Enano		Cachalote Común		Orca falsa											
	Delfin Mular		Calderon Tropical		Calderon Tropical											
	Delfin girador - Acróbata		Delfin Manchado Tropical		Delfin Manchado del Atlántico											
	Delfin Mular		Delfin Común		Calderon Tropical											

Figura 15 - Visor geográfico SIAM-opción capa base



Fuente: Geo visor SIAM <http://siam.invensar.org.co/sibm-busqueda-avanzada>

Figura 16 - Visor geográfico SIAM-opción capa base mapa de Colombia



Fuente: Geo visor SIAM <http://siam.invensar.org.co/sibm-busqueda-avanzada>

Figura 17 - Tabla de adquisición sísmica en Colombia partir de la Ronda 2010 hasta Septiembre de 2017

(Ver Anexo Adjunto en el CD y puede visualizarlo en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

SÍSMICA ADQUIRIDA EN COLOMBIA A PARTIR DE LA RONDA 2010 HASTA LA FECHA						
CUENCA	BLOQUE	PROFUNDIDAD DEL BLOQUE	AÑO	OPERADORA	SÍSMICA EJECUTADA EQUIVALENTE	TIPO DE SÍSMICA
Colombia	COL-1	3000 a 4000 metros	2015	Anadarko Colombia Company	63,606.44	3D
	COL-2	3000 a 3600 metros	2014	Anadarko Colombia Company	57,380.00	3D
			2015	Anadarko Colombia Company	48,506.34	3D
	COL-3	1400 a 3000 metros	2013	Shell Exploration And Production	8,721.00	2D
			2014	Shell Exploration And Production	5,725.00	3D
			2016	Shell Exploration And Production	4,867.20	3D
	COL-4	2000 a 3000 metros	2016	Repsol Exploración Colombia S.A.	48,156.16	3D
	COL-5	3000 a 3200 metros	2012	Agencia Nacional de Hidrocarburos	1,020.00	2D
2013			Anadarko Colombia Company	12,586.08	3D	
COL-6	4000 a 4200 metros	2016	Anadarko Colombia Company	46,652.25	3D	
COL-7	4000 a 4200 metros	2016	Anadarko Colombia Company	41,762.84	3D	
Total de Sísmica Corrida en la Cuenca					338,983.32	
Chocó Offshore	TUM OFF-3	200 a 400 metros	2011	Reliance Industries Limited	1,700.00	3D
	Total de Sísmica Corrida en la Cuenca					1,700.00
Guajira Offshore	-	-	2010	ONGC Videsh Limited	5,016.00	2D
	-	-	2011	Shell Exploration And Production	2,806.00	2D
	-	-	2011	Petrobras	1,501.00	3D
	GUA OFF-1	2000 a 3000 metros	2014	Repsol Exploración Colombia S.A.	51,448.00	3D
	GUA OFF-2	2000 a 2300 metros	2012	ONGC Videsh Limited	560.00	3D
	GUA OFF-3	2400 a 3200 metros	2012	Shell Exploration And Production	2,240.00	2D
			2013	Shell Exploration And Production	4,524.00	3D
			2014	Shell Exploration And Production	35,103.85	3D
	RC-12	200 a 400 metros	2015	Shell Exploration And Production	7,268.29	3D
2014			Repsol Exploración Colombia S.A.	857.60	3D	
Total de Sísmica Corrida en la Cuenca					111,324.74	
Pacífico y Caribe	-	-	2013	Agencia Nacional de Hidrocarburos	97,007.20	2D
	-	-	2014	Agencia Nacional de Hidrocarburos	19,267.00	2D
	Total de Sísmica Corrida en la Cuenca					116,274.20
Sinú Offshore	-	-	2010	Petrobras	557.00	3D
	-	-	2012	Petrobras	319.00	3D
	FUERTE NORTE	1800 a 2000 metros	2013	Anadarko Colombia Company & Ecopetrol S.A	3,538.19	3D
	FUERTE SUR	100 a 2000 metros	2013	Anadarko Colombia Company & Ecopetrol S.A	2,590.00	3D
	PURPLE ANGEL	2000 a 3000 metros	2013	Anadarko Colombia Company & Ecopetrol S.A	10,603.95	3D
	URA-04	30 a 100 metros	2013	Anadarko Colombia Company & Ecopetrol S.A	1,211.00	3D
Total de Sísmica Corrida en la Cuenca					18,819.14	
TOTAL SÍSMICA CORRIDA A PARTIR DE LA RONDA ANH - 2010 A SEPTIEMBRE DE 2017					587,101.40	

Revisado en: Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH en Datos, Cifras y Estadísticas
Página web: <http://www.anh.gov.co/ANH-en-Datos/Paginas/Cifras-y-Estad%C3%ADsticas.aspx>
Consultado: Noviembre 12 de 2017

4. EVALUACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

Con el fin de establecer parámetros claros de interpretación a los impactos ambientales ya identificados y tipificados, se procede a establecer criterios de evaluación y categorización generales, los cuales están basados en la metodología propuesta por Vitoria Conesa Fernández⁷⁴. Además, permite determinar la Significancia Ambiental y a partir de la misma, presentar recomendaciones de buenas prácticas para prevenir, corregir o mitigar los impactos generados.

Estos calificadores son generales, y permiten hacer una evaluación global a los casos de estudio analizados.

4.1. ESCALA DE VALORES DE LOS PARÁMETROS A EVALUAR

Dada la naturaleza, variedad de condiciones y características que presentan los impactos ambientales los cuales se han podido analizar en el desarrollo de una campaña sísmica, y considerando la dificultad en la cuantificación de los mismos, esta metodología fundamenta su evaluación en la calificación de la importancia y significancia en cada uno de ellos. La calificación de los impactos ambientales se presenta basado en la interpretación de los autores, ratificada en documentos técnicos y científicos. En cada uno de los parámetros mediante la utilización de una escala de valores, se determina el grado de la alteración que se podría estar generando con la ejecución del programa sísmico sobre la fauna marina.

Por consiguiente, a continuación, se presentan los parámetros a considerar dentro de la metodología junto con los grados de importancia que se puedan dar.

⁷⁴ CONESA Fernández V. Guía Metodológica para la evaluación del Impacto Ambiental. Segunda Edición. Madrid, España. 1993

Para los 5 parámetros de evaluación establecidos, se estipula una división puntual a criterio de los autores según la relevancia de dicho factor en una campaña sísmica; así:

Tabla 17 - Parámetros generales de evaluación

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	PUNTOS ASIGNADOS
Duración	10 puntos
Profundidad	20 puntos
Extensión	10 puntos
Reversibilidad	30 puntos
Intensidad	30 puntos
Total de puntos	100 puntos

4.1.1. Duración. La duración, se define como el tiempo de permanencia de la acción sísmica (Corrida de la línea sísmica) medida en semanas y la exposición de las especies a la misma. A continuación, se presenta la tabulación que se toma como referencia de evaluación en una escala de 1 a 10 puntos posibles de los 100 totales, siendo 10 el mayor rango de semanas dada la importancia ambiental.

Los rangos de duración designados por los autores para la evaluación de éste parámetro están basados en la información técnica de los 8 casos estudiados sintetizados en el capítulo 4, tabla 27.

Estos parámetros son los indicadores para la calificación y se sintetizan por especie usando el método matricial.

Tabla 18 - Parámetros de Evaluación de Duración

CALIFICADOR	RANGO [semanas]	VALOR
Bajo	0 a 3	1
	4 a 6	2
	7 a 9	3
Medio	10 a 12	4
	13 a 16	5

	17 a 20	7
Alto	21 a 24	8
	25 a 28	9
	29 a 32	10

4.1.2. Profundidad. La profundidad se establece como la distancia desde la fuente sísmica y el lecho marino en metros.

Cada especie se evalúa de acuerdo a la profundidad promedio donde fue avistada en los casos estudiados, y su resultado se escribe en una columna usando el método matricial.

Los rangos de profundidad (en metros) establecidos fueron parametrizados de acuerdo a la información técnica de los 8 casos estudiados, evidenciados en el capítulo 4, tabla 28.

Se establece una escala de evaluación de 1 a 20 puntos de 100 posibles; donde 20 será la profundidad más somera en el intervalo de 0 a 29 metros y 1 equivale a profundidades igual o mayores a 2.020 metros; la cual se presenta a continuación:

Tabla 19 - Parámetros de Evaluación de Profundidad

CALIFICADOR	RANGO [metros]	VALOR
Bajo	≥ 2.020	1
	1.818 a 2.019	2
	1.614 a 1.817	3
	1.410 a 1.613	4
	1.206 a 1.409	5
	1.001 a 1.205	7
	Medio	876 a 1.000
741 a 875		9
606 a 740		10
471 a 605		11
336 a 470		12
201 a 335		13
Alto	175 a 200	14

	146 a 174	15
	117 a 145	16
	88 a 116	17
	59 a 87	18
	30 a 58	19
	0 a 29	20

4.1.3. Extensión. Éste atributo hace referencia al área de estudio del impacto, medido en Kilómetros cuadrados, es decir, el área, zona o sector donde tiene manifestación las consecuencias de la actividad sísmica exploratoria.

Los resultados de ésta calificación son evaluados por especie en orden taxonómico, expresado en una columna de la matriz de evaluación y categorización.

Para efectos de calificación de éste parámetro, se usa una escala con valores de 1 a 10 puntos de 100 posibles, donde 10 es la extensión mayor y 1 la menor, variando entre el máximo y mínimo respectivamente en el área de acción de los casos analizados.

Los rangos de extensión a continuación descritos fueron establecidos de acuerdo a la información técnica de los 8 casos estudiados, sintetizada en el Capítulo 4, tabla 27.

Tabla 20 - Parámetros de Evaluación de Extensión

CALIFICADOR	RANGO [Km ²]	VALOR
Bajo	0 a 4.800	1
	4.801 a 9.800	2
	9.801 a 14.600	3
Medio	14.601 a 19.400	4
	19.401 a 24.200	5
	24.201 a 29.000	7
Alto	29.001 a 33.800	8
	33.801 a 39.000	9
	39.001 a 44.500	10

4.1.4. Reversibilidad. Se refiere a la posibilidad de restauración del factor alterado como consecuencia de la acción cometida, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

Se analiza cada tipo de efecto de acuerdo a su naturaleza, y a partir de la misma, fundamentada en textos científicos se determina si el impacto sobre las especies será Reversible o Irreversible.

Para este criterio de evaluación se asignó 30 puntos de 100 posibles, distribuidos en cada uno de los 16 tipos de efectos analizados y tipificados por los autores, de acuerdo a la incidencia en los diferentes grupos de especies.

Su escala se presenta a continuación:

Tabla 21 – Parámetros de Evaluación de Reversibilidad

TIPO DE EFECTO	NUMERO DE IMPACTOS IDENTIFICADOS	VALOR PORCENTUAL	VALOR PUNTUAL INDIVIDUAL	VALOR PUNTUAL GRUPAL
Efecto Crónico	2	20 %	3	6
Efecto Físico	6	47 %	2	12
Efecto de Comportamiento	3	14 %	1,8	5,4
Efecto Perceptivo	3	12 %	1,4	4,2
Efecto Indirecto	2	7 %	1,2	2,4
TOTAL	16	100%	-	30

- **Valor porcentual:** es el valor establecido a criterio de los autores, según la alteración generada en las especies estudiadas. No se establece una división equitativa de los 30 puntos posibles de 100, en los 5 tipos de efectos establecidos (*La identificación y tipificación de los efectos se detalla en el capítulo 3*) debido a la relevancia de unos efectos sobre otros.
- **Valor puntual grupal:** Es la asignación puntual de cada tipo de efectos de acuerdo al valor porcentual establecido a criterio de los autores. Para su

cálculo, se multiplica el valor porcentual asignado a los tipos de efectos por los 30 puntos posibles de éste parámetro.

- **Valor puntual individual:** Es la división del valor puntual grupal en el número de impactos analizados que conforman cada tipo de efectos.

Según la viabilidad de restauración de la especie, se asigna el siguiente valor puntual:

Tabla 22 - Determinación de la Reversibilidad

ÍTEM EVALUADO	VALOR PUNTUAL INDIVIDUAL
Reversible	0
Irreversible	Dependiendo el tipo de efecto en cada especie.

Tabla 23 - Determinación de la Reversibilidad en los Impactos Identificados

TIPOS DE EFECTOS	EFECTO	REVERSIBILIDAD
Efectos Físicos	Pérdida del 15% de las espinas	Irreversible
	Daños en los tejidos de los órganos viscerales, como cráneo y caparazón.	Irreversible
	Daños a tejidos de la estructuras auditivas, perdida permanente del umbral auditivo	Irreversible
	Cambios temporales en el umbral de audición	Reversible
	Daños a tejidos vitales del cuerpo debido a aeroembolismos	Irreversible
	Enfermedad del Buzo (Síndrome de Up)	Reversible
Efectos Crónicos	Detención en el desarrollo de los Huevos y Reducción en el Crecimiento de las Larvas	Irreversible
	Mortalidad a distancia cercanas del punto de emisión del arreglo de pistolas de aire	Irreversible
Efectos de Comportamiento	Desviación de la Ruta Normal de migración	Reversible
	Dificultad para la eco-localización	Reversible
	Disminución en su Ciclo reproductivo	Reversible
Efectos Perceptivos	Interrupción en la Alimentación	Reversible
	Evasión o escape de la onda sísmica	Reversible
	Alteración en la capacidad de comunicación en la especie	Reversible
Efectos Indirectos	Disminución en la abundancia Poblacional	Reversible
	Desorientación	Reversible

La evaluación de estos parámetros es expresada en una matriz adicional (Anexo B, página 2) debido a la magnitud de la calificación, ya que se evalúan los 16 impactos en las 64 especies analizadas.

Luego, se realiza una sumatoria del valor puntual asignado a cada impacto evaluado por especie y esta sumatoria es incorporada a la matriz de evaluación y categorización general (Anexo B) de los 5 parámetros designados (duración, profundidad, extensión, reversibilidad e intensidad).

4.1.5. Intensidad. La intensidad, se define como la potencia acústica transferida por ondas sonora generadas por un arreglo sísmico en unidad de área; normalmente en dirección de la propagación medida en decibeles y su incidencia en las especies estudiadas de acuerdo al margen de tolerancia de audición para cada grupo de especies.

Para evaluar éste parámetro se asignó un máximo de 30 puntos de 100 posibles. Se toma en cuenta el porcentaje incremental basado en el margen mínimo de tolerancia acústica de cada grupo de especies; después, dicho margen incremental en porcentaje se multiplica por el valor puntual máximo, (30 puntos) para este parámetro de evaluación. Las márgenes de tolerancia auditiva se expresan por grupos de especies con similares condiciones fonológicas y fisiológicas.

La información de la mínima tolerancia de audición por grupo taxonómico de especies se expresa en la tabla 24 del presente capítulo, fue recopilada en documentación técnica y académica debidamente avalada.

Este resultado es sintetizado en una columna en la matriz general de evaluación y categorización. (Anexo B)

Tabla 24 - Mínima Tolerancia de Audición por grupo de especies y Valores de Evaluación

GRUPO DE ESPECIES	MÍNIMA TOLERANCIA DE LA ESPECIE	PORCENTAJE INCREMENTAL	VALOR DE EVALUACIÓN
Humanos	140 Db	78,5 %	24
Odontocetos	128 Db	88,2 %	27
Misticetos	142 Db	76 %	23
Delfines	125 Db	92,8 %	28
Pinnípedos	140 Db	75 %	23
Peces	180 Db	36 %	11
Ictio-plancton	226 Db	6 %	2
Reptiles	180 Db	45 %	14
Aves	160 Db	62,5 %	19
Malacostráceos	226 Db	16 %	5
Equinoideos	226 Db	6,6 %	2
Moluscos	226 Db	6,6 %	2

- Cálculo del porcentaje Incremental =

$$\frac{\text{Decibeles de la camara por caso de estudio} \times 100\%}{\text{tolerancia mínima de audición}} - 100\%$$

La data de los decibeles de las cámaras de aire son datos técnicos en los 8 casos estudiados. Las 64 especies analizadas fueron clasificadas taxonómicamente en el capítulo 3 (Anexo C, Página 3).

Tabla 25 - Calificadores establecidos para la Reversibilidad

CALIFICADOR	RANGO EN PORCENTAJE	RANGO DEL VALOR PUNTUAL (%INCREMENTAL)
Bajo	0 a 35%	1 a 10,5
Medio	36 a 70%	10,8 a 21
Alto	71 a 100%	21,3 a 30

Cada valor incremental de 1% equivale a un aumento del valor puntual de 0,3

4.2. SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL.

Para determinar la significancia del Impacto ambiental se realiza la sumatoria de las calificaciones otorgadas a cada uno de los parámetros.

La ecuación que determina la Significancia del Impacto Ambiental esta expresada a continuación:

$$S.I.A. = Duración + Profundidad + Extensión + Reversibilidad + Intensidad$$

4.3. IMPORTANCIA AMBIENTAL Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS.

La importancia ambiental de cada impacto está dada por la sumatoria de las calificaciones otorgadas a cada uno de los parámetros evaluados. Es decir, una vez hayan sido evaluados todos los parámetros, la Importancia Ambiental del Impacto oscila dentro del rango comprendido dentro de 0 a 100. Teniendo en cuenta estos valores, se determina la categorización del Impacto ambiental en leve, moderado y severo presentado en la siguiente tabla:

Tabla 26 - Categorización de los Impactos Ambientales

CATEGORÍA	RANGO
Leve	0 a 50
Moderado	51 a 75
Severo	76 a 100

En la tabla 27 de este capítulo se presenta la síntesis de los casos de estudio y en el anexo B la matriz creada por los autores donde se plasma el resultado de la evaluación y categorización de los impactos; Las 64 especies estudiadas fueron clasificadas según su orden taxonómico.

A continuación, se citan los nombres de los casos de estudio analizados en el presente trabajo de Investigación:

- Caso I: Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera-Bloque Centro Golfo San Jorge y plan de contingencia.
- Caso II: Levantamiento sísmico marino del navío de investigación Maurice Edwing fuera de la costa septentrional de Yucatán Golfo de México 9 de junio al 13 de Julio de 2004.
- Caso III: EIA Proyecto levantamiento sísmico 2D Y 3D regional de la franca costera del Perú Tumbes-Tacna.
- Caso IV: Alegaciones campaña sísmica 2D en áreas libres del Mediterráneo Noroccidental-Mar Balear.
- Caso V: Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales PETRO TECH-Perú.
- Caso VI: Estudio de impacto ambiental: proyecto de “Levantamiento sísmico 3D en el lote Z-1 Región de Tumbes y Plan de Manejo Ambiental”.
- Caso VII: Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD, Y 3D y perforación exploratoria en el lote Z-46-Peru y plan de manejo ambiental.

4.4. SÍSTESIS DE LOS PARÁMETROS BASE DE EVALUACIÓN

Tabla 27 - Síntesis de los parámetros Base de Evaluación

PARÁMETROS CASOS	DURACIÓN [Semanas]	PROFUNDIDA D MEDIA [Metros]	EXTENSIÓN [Kilómetros cuadrados]	REVERSIBILIDAD	INTENSIDAD [Decibeles]
CASO I	8 Semanas	63 metros	1.176 Km ²	Dependerá del tipo de Impacto ambiental identificado y su naturaleza	263 dB
CASO II	1 Semana	125 metros	2.363 Km ²		255 dB
CASO III	28 Semanas	2.020 metros	44.474 Km ²		241 dB
CASO IV	22 Semanas	1.100 metros	14.000 Km ²		250 dB
CASO V	32 Semanas	275 metros	2.272 Km ²		245 dB
CASO VI	12 Semanas	400 metros	1.605 Km ²		240 dB
CASO VII	20 Semanas	300 metros	12.850 Km ²		260 dB

4.5. MATRIZ DE EVALUACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS

Figura 18 - Matriz de Evaluación y Categorización General

(Ver Anexo Adjunto en el CD y puede visualizarlo en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

EVALUACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN LOS PROGRAMAS SISMICOS DE EXPLORACIÓN COSTA AFUERA										
Especies Involucradas			Items de Evaluación					Significancia del Impacto Ambiental	Importancia Ambiental	
Clases Taxonómicas	Nombre Común	Nombre Científico	Duración	Profundidad	Extensión	Reversibilidad	Intensidad			
Mamíferos	Ballena Azul	<i>Balaenoptera musculus</i>	9	13	10	4	23	59	MODERADO	
	Ballena Bryde	<i>Balaenoptera brydei</i>	7	13	1	4	23	48	LEVE	
	Ballena Franca Austral	<i>Eubalaena australis</i>	3	18	1	0	23	45	LEVE	
	Ballena Franca del Norte	<i>Eubalaena glacialis</i>	10	13	1	0	23	47	LEVE	
	Ballena Gris	<i>Eschrichtius robustus</i>	10	13	1	4	23	51	MODERADO	
	Ballena Jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>	10	13	10	4	23	60	MODERADO	
	Rorcual Aliblanco	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	9	1	10	0	23	43	LEVE	
	Rorcual Boreal	<i>Balaenoptera borealis</i>	9	1	10	0	23	43	LEVE	
	Rorcual Común - Ballena de Aleta	<i>Balaenoptera physalus</i>	8	13	10	0	23	54	MODERADO	
	Rorcual de Bryde	<i>Balaenoptera brydei</i>	9	1	10	0	23	43	LEVE	
	Cachalote Común	<i>Physeter macrocephalus</i>	10	7	10	4	27	58	MODERADO	
	Cachalote Erano	<i>Kogia simus</i>	9	1	10	4	27	51	MODERADO	
	Cachalote Pigmeo	<i>Kogia breviceps</i>	9	1	10	4	27	51	MODERADO	
	Calderon Gris - Delfín Gris	<i>Grampus griseus</i>	9	1	10	0	28	48	LEVE	
	Calderon Tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	9	1	10	0	28	48	LEVE	
	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	10	13	3	4	28	58	MODERADO	
	Delfín Girador - Acróbata	<i>Stenella longirostris</i>	9	1	10	4	28	52	MODERADO	
	Delfín de Hocico Estrecho	<i>Steno bredanensis</i>	9	1	10	4	28	52	MODERADO	
	Delfín Manchado del Atlántico	<i>Stenella frontalis</i>	1	16	1	4	28	50	LEVE	
	Delfín Manchado Tropical	<i>Stenella attenuata</i>	9	1	10	4	28	52	MODERADO	
	Delfín Mujer	<i>Tursiops truncatus</i>	9	16	10	4	28	57	MODERADO	
	Orca Común	<i>Orcinus orca</i>	9	18	10	4	28	69	MODERADO	
	Orca Falsa	<i>Pseudorca crassidens</i>	9	1	10	0	28	48	LEVE	
	Orca Pigmea	<i>Feresa attenuata</i>	9	1	10	0	28	48	LEVE	
	Zifio Cuvier - Común	<i>Ziphius cavirostris</i>	9	1	10	0	27	47	LEVE	
	Zifio de Blairville	<i>Mesoplodon densirostris</i>	9	1	10	0	27	47	LEVE	
	Foca Encapuchada	<i>Cystophora cristata</i>	1	16	1	0	23	41	LEVE	
	Leones Marinos	<i>Otaria flavescens</i>	10	13	1	4	23	51	MODERADO	
	Lobo Marino Chusco - de un Pelo	<i>Otaria flavescens</i>	7	18	3	0	23	51	MODERADO	
	Lobo Marino de dos Pelos	<i>Arctophoca australis</i>	10	13	10	0	23	56	MODERADO	
	Humanos	<i>Homo sapiens</i>	8	7	3	2	24	44	LEVE	
	Peces	Anchoveta	<i>Engraulis ringens</i>	10	13	1	8	11	43	LEVE
		Bacalao del Atlántico - Común	<i>Gadus morhua</i>	8	13	3	8	11	43	LEVE
		Eglefino	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	8	7	3	8	11	37	LEVE
		Goldfish o carpin dorado	<i>Carassius auratus</i>	10	13	1	8	11	43	LEVE
		Lenguado	<i>Solea solea</i>	10	13	1	8	11	43	LEVE
		Lisa	<i>Liza ramada</i>	10	13	1	8	11	43	LEVE
		Merluza Argentina	<i>Merluccius hubbsi</i>	10	13	1	8	11	43	LEVE
		Merluza Común - del Pacífico Sur	<i>Merluccius gayi</i>	3	18	1	8	11	41	LEVE
		Pez Bontio	<i>Sarda sarda</i>	8	7	3	8	11	37	LEVE
Salmón Americano		<i>Salmo salar</i>	10	13	1	8	11	43	LEVE	
Sardina		<i>Sardina pilchardus</i>	8	7	3	8	11	37	LEVE	
Íctioplancton		<i>Íctioplancton</i>	5	12	1	10	2	30	LEVE	
Atún Común		<i>Thunnus thynnus</i>	8	7	3	8	11	37	LEVE	
Jurel		<i>Trachurus trachurus</i>	8	7	3	8	11	37	LEVE	
Pez Espada		<i>Xiphias gladius</i>	8	7	3	8	11	37	LEVE	
Tortuga Blanca - Tortuga Verde		<i>Chelonia mydas</i>	10	16	3	5	14	46	LEVE	
Tortuga Boba - Común		<i>Caretta caretta</i>	10	16	3	5	14	46	LEVE	
Tortuga Carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>	7	16	3	5	14	45	LEVE		
Tortuga Dorso de Cuero - Laud	<i>Demochelys coriacea</i>	7	16	3	5	14	45	LEVE		
Tortuga Lora	<i>Lepidochelys kempi</i>	1	16	1	5	14	37	LEVE		
Tortuga Pico de Loro	<i>Lepidochelys olivacea</i>	7	13	3	3	14	40	LEVE		
Aves	Comoran Imperial	<i>Leucocarbo atriceps</i>	3	18	1	0	19	41	LEVE	
	Falaropo tricolor	<i>Phalaropus fulicaria</i>	7	13	3	0	19	42	LEVE	
	Guansay	<i>Phalacrocorax bougainvillii</i>	7	13	3	0	19	42	LEVE	
	Saviotas	<i>Oceanodroma leucorhoa</i>	7	13	3	0	19	42	LEVE	
	Pelicano	<i>Pelecanus thagus</i>	7	13	3	0	19	42	LEVE	
	Pingüino Magallanes - Patagónico	<i>Spheniscus magellanicus</i>	3	18	1	0	19	41	LEVE	
	Piquero Peruano	<i>Sula variegata</i>	7	13	3	0	19	42	LEVE	
	Rabijunco de Pico Rojo	<i>Alca torda</i>	1	16	1	0	19	37	LEVE	
	Langostino	<i>Penaeus kerathurus</i>	3	18	1	0	5	27	LEVE	
Crustáceos	CRUSTACEA	9	1	10	2	5	27	LEVE		
Equinoideos	Erizo de Mar	<i>Mesocentrotus franciscanus</i>	9	1	10	2	2	24	LEVE	
Moluscos	Moluscos	MOLLUSCA	9	1	10	0	2	22	LEVE	

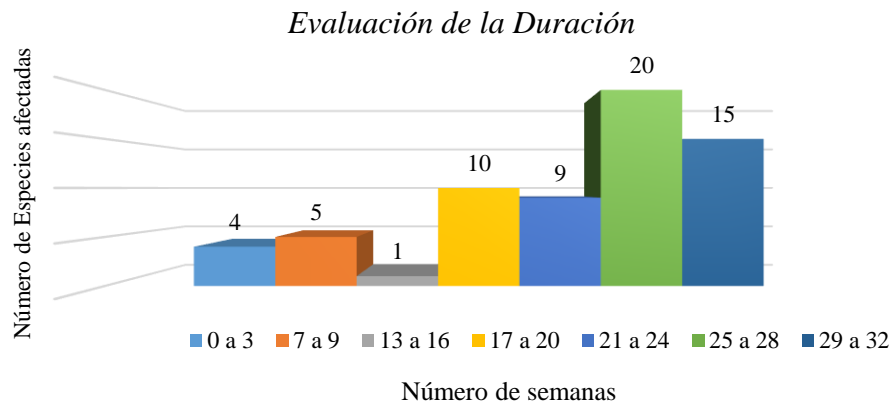
Figura 19 - Matriz de Evaluación y Categorización de la Reversibilidad
 (Ver Anexo Adjunto en el CD y puede visualizarlo en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Especies Involucradas			EVALUACION DE LA REVERSIBILIDAD EN LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS SIGNIFICATIVOS														Total Reversibilidad
			Tipos de Efectos														
			Efectos Físicos				Efectos crónicos		Efectos en el Comportamiento		Efectos Perceptivos		Efectos Indirectos				
Penalización del 15% de las especies	Daño en los tejidos de los órganos visuales, auditivos y Captación	Daños a tejidos de la estructura auditiva, pérdida permanente del umbral auditivo	Cambios Temporales en el Umbral de Audición	Daños a tejidos visuales de cuerpo debido a acrombomas	Enfermedad del Buzo (Sndrome de Up)	Disminución en el desarrollo de los Huevos y Reducción en el Crecimiento de las Larvas	Mortalidad a distancia cercana del punto de emisión de arroyo de pastillas de aire	Desviación de la Ruta Normal de migración	Dificultad para la acobalización	Disminución en su Ciclo reproductivo	Interrupción en la Alimentación	Evasión o escape de la onda sísmica	Alteración en la capacidad de comunicación en la especie	Disminución en la abundancia Poblacional	Desorientación		
Clases Taxonómicas	Nombre Común	Nombre Científico															
Mamíferos	Ballena Azul	<i>Balaenoptera musculus</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Ballena Bryde	<i>Balaenoptera brydei</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Ballena Franca Austral	<i>Eubalaena australis</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Ballena Franca del Norte	<i>Eubalaena glacialis</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Ballena Gris	<i>Eschrichtius robustus</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Ballena Jorobada	<i>Megaptera novaeangliae</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Rorcual Albano	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Rorcual Boreal	<i>Balaenoptera borealis</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Rorcual Común - Ballena de Aleta	<i>Balaenoptera physalus</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Rorcual de Bryde	<i>Balaenoptera brydei</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Cachalote Común	<i>Physeter macrocephalus</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Cachalote Enano	<i>Kogia simus</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Cachalote Pigmeo	<i>Kogia breviceps</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Calderon Gris - Delfín Gris	<i>Grampus griseus</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Calderon Tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Delfín Común	<i>Delphinus delphis</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Delfín Girador - Acróbata	<i>Stenella longirostris</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Delfín de Hocico Estrecho	<i>Steno bredanensis</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Delfín Marchado del Atlántico	<i>Stenella frontalis</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Delfín Marchado Tropical	<i>Stenella attenuata</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Delfín Mular	<i>Tursiops truncatus</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Orca Común	<i>Orcinus orca</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Orca Falsa	<i>Pseudorca crassidens</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Orca Pigmea	<i>Feresa attenuata</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Zifio Cuñer - Común	<i>Ziphius cavirostris</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Zifio de Blainville	<i>Mesoplodon densirostris</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Foca Encapuchada	<i>Cystophora cristata</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Leones Marinos	<i>Otaria flavescens</i>	-	-	2	-	2	-	-	0	0	0	0	0	-	4	
	Lobo Marino Chusco - de un Pelo	<i>Otaria flavescens</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	
	Lobo Marino de dos Pelos	<i>Arctophoca australis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	Humanos	<i>Homo sapiens</i>	-	-	2	-	2	-	0	-	-	-	-	-	-	0	
	Peces	Anchoeta	<i>Engraulis ringens</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8
Bacalao del Atlántico - Común		<i>Gadus morhua</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Eglefino		<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Goldfish o carpín dorado		<i>Carassius auratus</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Lenguado		<i>Solea solea</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Lisa		<i>Liza namata</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Merluza Argentina		<i>Merluccius hubbsi</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Merluza Común - del Pacífico Sur		<i>Merluccius gayi</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Pez Borito		<i>Sarda sarda</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Salmón Americano		<i>Salmo salar</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Sardina		<i>Sardinia pilchardus</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Ictioplancton		<i>Ictioplancton</i>	-	-	2	-	2	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8
Atún Común		<i>Thunnus thynnus</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Jurel		<i>Trachurus trachurus</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
Reptiles	Pez Escaifa	<i>Xiphetes gladius</i>	-	-	2	0	-	-	3	3	-	-	-	0	-	8	
	Tortuga Blanca - Tortuga Verde	<i>Chelonia mydas</i>	-	2	-	-	-	-	3	3	-	0	-	0	-	5	
	Tortuga Boba - Común	<i>Caretta caretta</i>	-	2	-	-	-	-	3	3	-	0	-	0	-	5	
	Tortuga Carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>	-	2	-	-	-	-	3	3	-	0	-	0	-	5	
	Tortuga Dorsa de Cuero - Laúd	<i>Dermochelys coriacea</i>	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-	0	-	3	
	Tortuga Lora	<i>Lepidochelys kempi</i>	-	2	-	-	-	-	3	3	-	0	-	0	-	5	
	Tortuga Pico de Loro	<i>Lepidochelys olivacea</i>	-	-	-	-	-	-	3	3	-	0	-	0	-	3	
Aves	Comoran Imperial	<i>Leucocarbo atriceps</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Falaropo tricolor	<i>Phalaropus fulicarius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Guarey	<i>Phalacrocorax bougainvillii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Gaviotas	<i>Oceanodroma lethys</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Pelicano	<i>Pelecanus thagus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Pingüino Magallanes - Patagónico	<i>Spheniscus magellanicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0
	Piquero Penano	<i>Sula venusta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Rabujico de Pico Rojo	<i>Alca torda</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Langostino	<i>Penaeus kerathurus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	
	Crustáceos	CRUSTACEA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Equinoideos	Erizo de Mar	Mesocentrotus franciscanus	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
Moluscos	Moluscos	MOLLUSCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	

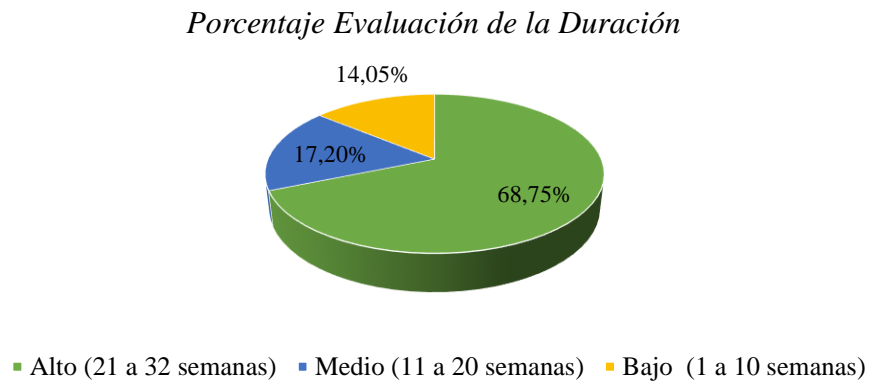
4.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.6.1. Análisis del parámetro de Duración

Gráfica 6 - Evaluación de la Duración



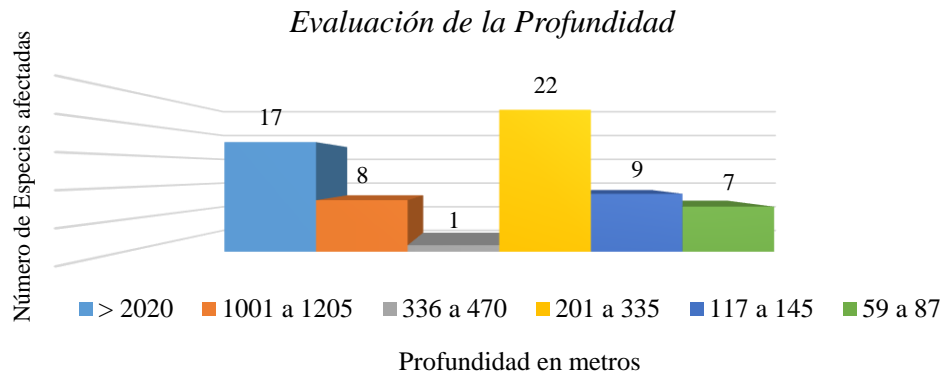
Gráfica 7 - Porcentaje Evaluación de la Duración



Las gráficas permiten deducir que, en proyectos sísmicos de más de 21 semanas de duración se afecta el 68,75% de las 64 especies analizadas en los 8 casos de estudio; dicho esto, se puede inferir que el aumento de la duración en la adquisición sísmica genera un aumento en la probabilidad de afectación de las especies.

4.6.2. Análisis del parámetro de Profundidad

Gráfica 8 - Evaluación de la Profundidad

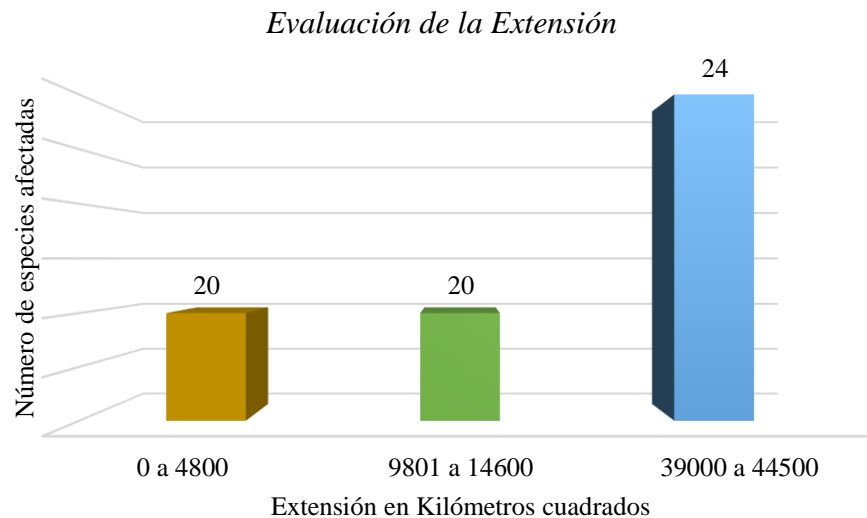


El gráfico evidencia que el mayor porcentaje de afectación se encuentra en los rangos de profundidad de 201 a 335 metros y profundidades mayores a 2020 metros, ya que para el primer rango mencionado se presenta una afectación del 34,37% y, para el segundo 26,56% de las 64 especies analizadas en los 8 casos de estudio.

De esto se puede inferir que el 61% de las especies estudiadas habitan en rangos entre 201 a 335 metros y profundidades mayores a 2020 metros, mientras el porcentaje restante habitan en profundidades intermedias a estos rangos. El comportamiento en la gráfica de la cantidad de especies afectadas no es lineal.

4.6.3. Análisis del parámetro de Extensión

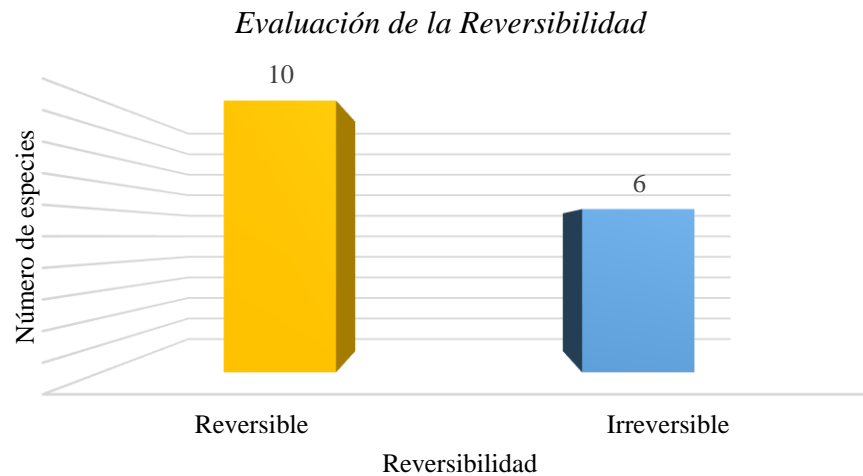
Gráfica 9 - Evaluación de la Extensión



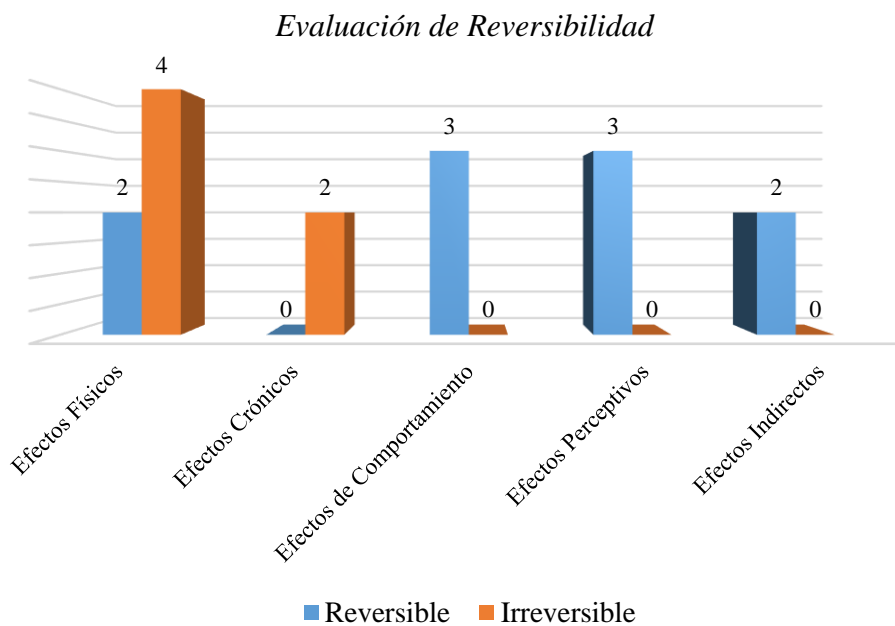
Luego de realizar una evaluación de los casos de estudio analizados se concluye que el parámetro de extensión es irrelevante al momento de medir la magnitud de los impactos ambientales posibles, en una campaña sísmica costa afuera debido a que el aumento poblacional solo es del 7% en considerables aumentos de extensión del área de afectación.

4.6.4. Análisis del parámetro de Reversibilidad

Gráfica 10 - Evaluación de la Reversibilidad



Gráfica 11 - Evaluación de la Reversibilidad



Del gráfico 10 y 11 se puede determinar que el 37 % de los 16 impactos significativos estudiados son de carácter Irreversible; dicho porcentaje se encuentra en los efectos de tipo físicos y crónicos siendo el 67% de los 6 efectos irreversibles

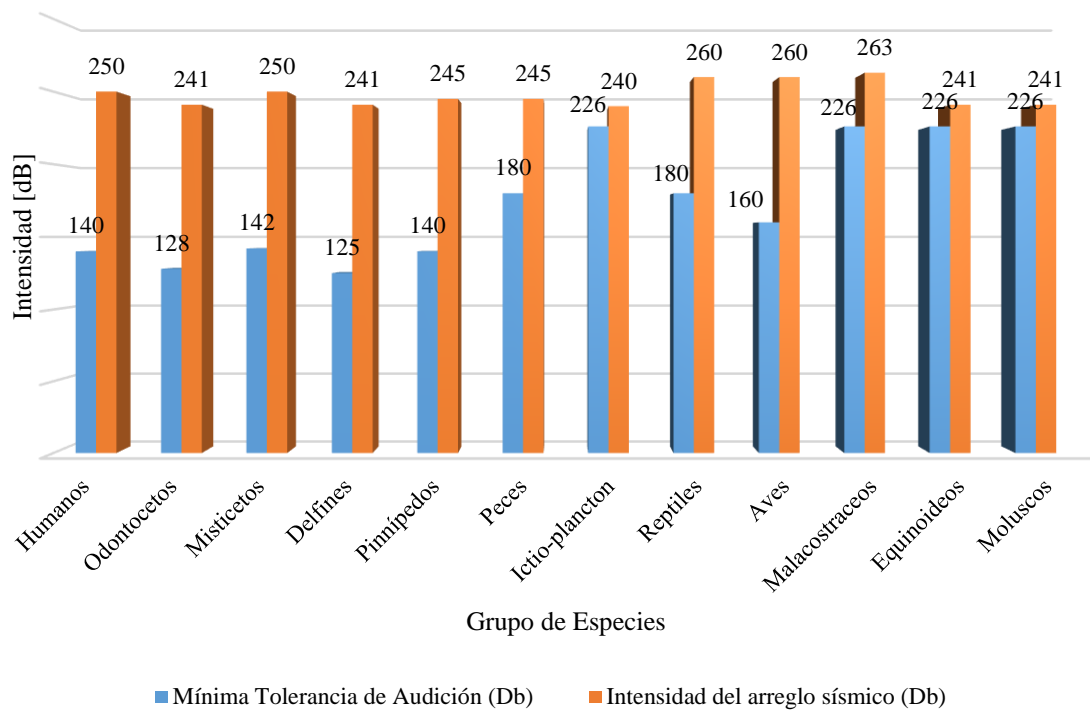
identificados de tipo físico, lo cual significa que la afectación generada por la sísmica de exploración costa afuera en la fauna marina después de corrida la campaña no genera mayor afectación en las especies que habitan las áreas de estudio analizadas.

Para finalizar, se puede concluir que 1 de cada 5 especies es afectada irreversiblemente de acuerdo a la Matriz de reversibilidad disponible en el Anexo B.

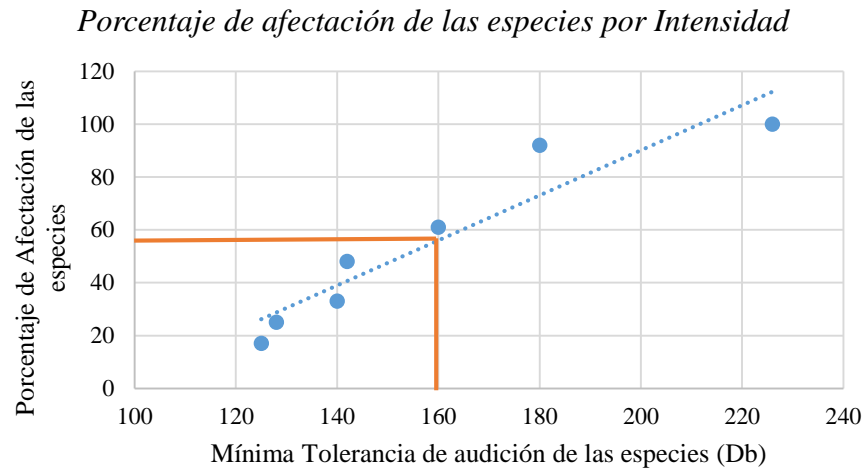
4.6.5. Análisis del parámetro de Intensidad

Gráfica 12 - Evaluación de la Intensidad

Mínima Tolerancia de Audición VS Arreglo Sísmico



Gráfica 13 - Porcentaje Evaluación de la afectación de acuerdo a la Intensidad

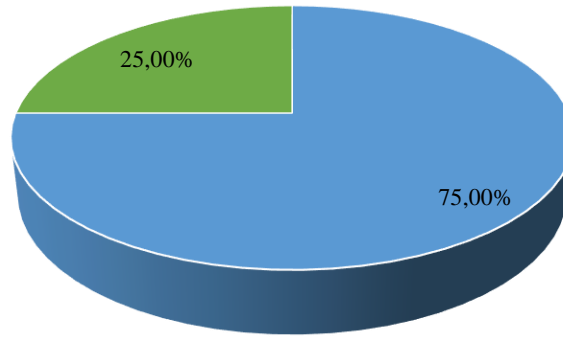


Del gráfico 12 se puede evidenciar que las campañas sísmicas de los casos de estudio analizados exceden en promedio 49 % del umbral mínimo de tolerancia de las especies analizadas; además se determina en el gráfico 13 que el número de especies afectadas es directamente proporcional al aumento de los decibeles generados por las cámaras de aire. Es decir, al correr un programa sísmico con una intensidad superior a los 160 decibeles, se generará una afectación en más del 60 % de las especies analizadas.

4.6.6. Análisis de la importancia Ambiental

Gráfica 14 - Porcentaje Evaluación de la Importancia Ambiental

Porcentaje Evaluación de la Importancia Ambiental



- Leve (1 a 50 puntos en la S.I.A.)
- Moderado (51 a 75 puntos en la S.I.A.)

La importancia Ambiental es la sumatoria de cada uno de los parámetros establecidos de evaluación de acuerdo con los calificadores estipulados por los autores.

Se determina que el porcentaje de la Importancia ambiental en su mayoría es Leve (75%) de las 64 especies analizadas en los 8 casos de estudio; lo cual concluye que las campañas de exploración sísmicas costa afuera no generan una alteración relevante del ecosistema marino.

5. RECOMENDACIONES PARA MITIGAR, PREVENIR Y CORREGIR IMPACTOS SIGNIFICATIVOS EN LA FAUNA MARINA.

Uno de los objetivos del presente trabajo de investigación planteado por los autores fue presentar medidas de mitigación, prevención y corrección a los posibles efectos analizados que se pueden presentar, debido a la intensidad de las ondas sonoras emitidas por las pistolas de aire comprimido utilizadas en la ejecución de sísmica costa afuera.

La industria hidrocarburífera actual se enfoca en el “petróleo bien hecho”, proceso realizado con conciencia ambiental, que respete el ambiente y proteja a la fauna ubicada en las zonas de interés petrolero, es por esto que los autores no solo se han limitado a identificar los impactos significativos generados en los casos de estudio sino que, además, presentan alternativas aplicables a cualquier zona o área de interés, donde se presente la necesidad de ejecutar un proceso de exploración con pistolas de aire con el objetivo de conocer el potencial energético, a fin de asegurar la protección de la fauna marina.

A continuación, se presentan medidas de prevención y mitigación, previas al zarpe de la embarcación y durante el desarrollo de la prospección sísmica, así como medidas de corrección aplicables durante la ejecución de la actividad a cualquier zona de interés. Las medidas presentadas para mitigar y corregir efectos en las diferentes especies fueron tomadas de bibliografía técnica y científica consultada durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

5.1. RECOMENDACIONES GENERALES PARA PREVENIR Y MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO SOBRE LA FAUNA MARINA

Tabla 28 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN		
Etapa	Aspecto	Descripción
Protección a zonas de Interés	Establecer de zona de seguridad	Se seleccionan zonas de exclusión geográfica como base de zonas de seguridad, respecto a la distribución y zonificación de especies, zonas de mayor intensidad de pesca, así como zonas de agrupamiento de cetáceos, tortugas marinas y sus desplazamientos para alimentación y/o reproducción.
	Establecimiento de línea de protección	Se establece una línea de protección de mínimo 15 kilómetros de las zonas santuario, consideradas y delimitadas según las autoridades pertinentes.
Previos al zarpe de la embarcación	Determinar la población en el área de interés	Se recomienda determinar qué especies probablemente se presentarán en el área de estudio y, evaluar si hay consideraciones temporales a tener en cuenta, por ejemplo, los períodos de migración, reproducción o cría. Se recomienda consultar la bibliografía existente de áreas y especies sensibles.
	Determinar el porcentaje de afectación	Si se concluye que se hará una afectación en más de un 30% de las especies involucradas en la campaña sísmica, se sugiere cancelarla o en su defecto, replantear el procedimiento a realizar.
	Diseño de cañones o pistolas de aire	Con el fin de reducir el impacto acústico, se debe definir la geometría de los cañones de aire para la producción mínima de energía acústica y establecer los niveles posibles más bajos de energía para la prospección sísmica. Actualmente existen suficientes recursos para modelar la propagación de un conjunto de cañones en diferentes geometrías con el fin de identificar la combinación de volúmenes y forma geométrica que minimice la propagación horizontal de la señal y permita los menores niveles de fuente efectivos para la adquisición.
	Diseño de la adquisición sísmica	Los contratistas geofísicos deben evitar la superposición geográfica de prospecciones sísmicas en la misma área general. El diseño debe adaptar la secuencia de líneas sísmicas teniendo en cuenta los movimientos predecibles de las especies involucradas.

Tabla 29 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN			
Etapa	Aspecto		Descripción
Previos al zarpe de la embarcación	Capacitación y preparación de la tripulación a bordo del buque sísmico		Realizar charlas de inducción, seguridad, salud, y responsabilidad ambiental a todo el personal involucrado en la operación en cualquier etapa del proceso; todos los trabajadores estarán informados, capacitados y sensibilizados para ejecutar sus labores por la mejor conducta y tomando las medidas preventivas expuestas.
			Brindar capacitación adicional a todo el personal que interviene en la operación de las cámaras de aire sobre las consecuencias que estas pueden provocar en la biota marina y las medidas de mitigación que se prevén adoptar.
			La configuración y arreglo de las cámaras de aire, así como el despliegue de los cables de registro sísmico serán efectuados por personal altamente calificado, proporcionando la debida vigilancia del funcionamiento de ellos de forma continua.
	En caso de presentarse operaciones en simultanea	En área de estudio diferente	Por principio de precaución, los posibles efectos generados por operaciones simultaneas en diferentes áreas deben ser minimizados por la entidad reguladora, la cual debe evaluar impidiendo/prohibiendo operaciones simultaneas en áreas adyacentes, o cercanas que puedan abarcar el hábitat de una misma población.
		En una misma área de estudio	En los casos en los que se propone más de una embarcación como fuente de adquisición, deberá aplicarse el mismo principio de precaución y limitar esta actividad a distancias máximas entre embarcaciones de fuente sísmica, que puedan ser controladas visualmente por los Observadores de Mamíferos Marinos - OMM. En estos casos suelen ser necesarias embarcaciones adicionales dedicadas a la observación u observación desde aviones o helicópteros.
	Programa informativo		Se recomienda ejecutar un programa informativo enfocado a la capitania de puerto, autoridades marítimas, guardacostas, asociaciones de pescadores y comunidad en general a fin de exponer el alcance del proyecto, compromisos de la empresa contratante respecto a la responsabilidad ambiental y las zonas a evaluar.
Se informa a las autoridades políticas y gremios de pescadores el zarpe, la fecha y horarios programadas de la campaña con el objetivo de evitar conflictos en la pesca artesanal e industrial.			

Tabla 30 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN					
Etapa	Aspecto		Descripción		
Previo a la emisión de la pistolas sísmica	Reconocimiento del área de estudio	Duración	Con un mínimo de 30 minutos previo al inicio de la primera emisión del cañón de aire, a fin de que los observadores de mamíferos marinos realicen un avistamiento de especies.		
		Condición meteorológica	Si El clima, estado de mar y visibilidad no son óptimas, se recomienda que los observadores desarrollen esta actividad desde un avión o helicóptero.		
	Reconocimiento del área de estudio	Avistamiento de especies	Se deberá alejar la especie de la zona de interés.		
		Monitoreo de tortugas y mamíferos	El monitoreo de mamíferos y tortugas será realizado de manera permanente a través del avistamiento e identificación de las especies que ocurren en el área de trabajo.		
			Este monitoreo también comprenderá la evaluación poblacional y sus rutas de desplazamiento		
	Avistamiento de cardúmenes de peces	Será determinado el tipo de especie y volumen encontrado de acuerdo a las detecciones por sonar y luego por ecosonda, además de la frecuencia e intensidad de la imagen recibida. Este procedimiento será continuo hasta completar toda el área de trabajo, debido a la dinámica de comportamiento			
	Al inicio de los disparos	Búsqueda previa (visual y acústica)	Aguas de profundidad mayor a 200 metros	Al inicio de los disparos se extiende hasta 60 minutos, Una búsqueda más larga aumenta la probabilidad de detección de cetáceos de aguas profundas	
			Para especies que realizan inmersión mayor a 30 metros	Al inicio de los disparos se extiende hasta 60 minutos.	

Tabla 31 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN			
Etapa	Aspecto	Descripción	
Durante la prospección sísmica	Embarcación Sísmica, de apoyo y escolta.	Registro de embarcaciones	Se reporta el registro de las embarcaciones ante la Dirección Marítima o autoridad pertinente, de acuerdo a las normas nacionales vigentes y convenios internacionales.
		Verificación de señalización y mantenimiento de equipos	Se verifica el correcto uso y mantenimiento de las señalizaciones en cada embarcación, el estado y funcionamiento de todos los equipos a usar en la campaña sísmica exploratoria.
		Equipo de ubicación GPS	El equipamiento de apoyo de la embarcación sísmica (cable, hidrófonos) deberá contar con un sistema que permita su ubicación geográfica.
		Reporte de ruta a seguir	Se comunica a la capitanía de puerto y autoridades pertinentes el derrotero o ruta planificada de las embarcaciones; además del reporte diario de las coordenadas de ubicación y la interacción (si se da) con embarcaciones pesqueras.
	Observación de Mamíferos Marinos - OMM	Numero OMM Sugeridos y capacitación	Se dispone a bordo de la embarcación sísmica de mínimo dos Observadores de Mamíferos Marinos – OMM expertos, capacitados (deberá conocer los rangos de protección adoptados para evitar la afectación de las especies identificadas) y con experiencia en registro poblacional, taxonómico y de comportamiento durante los trabajos exploratorios.
		Incorporación laboral	Deben ser contratados por una empresa independiente a la solicitante de la autorización para brindar transparencia en el proceso.

Tabla 32 - Recomendaciones para Prevención y Mitigación

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN				
Etapa	Aspecto	Descripción		
Durante la prospección sísmica	El soft-start	¿Qué es?	Es un método de mitigación muy común que permite a los cetáceos alejarse de la fuente de ruido antes de que la exposición alcance los 180 dB re 1microPa. Los cañones de aire se activan secuencialmente y su nivel de carga se aumenta progresivamente hasta alcanzar el mínimo nivel necesario para iniciar la adquisición de datos sísmicos.	
		Incremento	En general se recomienda que el incremento del nivel de fuente siga un ritmo de 6 dB cada 5 minutos y nunca se supere un incremento de 6 dB por minuto.	
		Inicio	Debe llevarse a cabo cada vez que los cañones de aire van a ser disparados, incluyendo disparos de prueba (calibración, sincronización, etc.). Siempre que sea posible, el soft-start debe ser planificado de manera que se desarrolle cuando la observación por los OMMs (y la escucha por PAM si está disponible) pueda ser realizada de manera efectiva.	
		Al finalizar	Una vez que el soft-start se ha realizado y los cañones de aire están a pleno rendimiento la adquisición de datos sísmicos debe comenzar de inmediato. Los operadores deben evitar la emisión innecesaria a pleno rendimiento. Si, por cualquier motivo, el disparo de los cañones de aire se detiene y se reinicia con un intervalo menor a 10 minutos y el control de la zona de exclusión por los OMMs y/o PAM ha sido efectiva durante al menos los 60 minutos previos, no es necesario aplicar el reinicio paulatino.	
		En caso de una interrupción	Después de una interrupción no planificada de más de 10 minutos o de menos de 10 minutos, pero sin un control de la zona de exclusión efectivo por parte de los OMMs durante al menos los 60 minutos previos, o durante periodo nocturno, se debe realizar un nuevo recorrido de observación.	
		Avistamiento de mamíferos y presencia de embarcaciones		Si un mamífero marino se detecta al mismo tiempo que los cañones no están en ejecución, el OMM debe retrasar el inicio del soft-start.
				Cuando dos o más barcos están operando en área adyacentes en turnos diferentes para evitar causar interferencias sísmicas entre ellas, el proceso de soft-start y de los procesos de demora para cada barco debe comunicarse y aplicarse en cada barco implicado en el estudio sísmico

Tabla 33 Recomendaciones para Prevención y Mitigación

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN			
Etapa	Aspecto		Descripción
Durante la prospección sísmica	El soft-start	Observaciones visuales durante el soft-start	Las observaciones visuales deben mantenerse continuas durante el proceso de incremento gradual de potencia (soft-start) de modo de estar en condiciones de establecer presencia o ausencia de las especies marinas de interés dentro de las áreas de seguridad establecidas para este presentar el informe pertinente.
		Procedimiento para reinicio	El reinicio de la actividad de cañones de aire después de una interrupción (planificada o no) durante la noche debe prohibirse si la prospección se realiza en áreas donde no hay evidencia de ausencia de especies sensibles o si la prospección no se regulado mediante restricciones espaciales o temporales por falta de información de presencia de cetáceos.
	Observación de Mamíferos Marinos – OMM	Avistamiento de cetáceos	Un OMM puede recomendar una demora en el inicio, o la suspensión de la actividad sísmica siempre que haya una detección de cualquier cetáceo dentro de la zona de exclusión.
			Un OMM debe ser capaz de garantizar que la prospección sísmica se realiza conforme las directrices establecidas por el órgano responsable de la autorización a la prospección sísmica.
			El OMM debe tener la facilidad de pasar órdenes al jefe de campaña y detener “el soft-start” o la plena actividad de los cañones de aire siempre que lo considere necesario.
	Incorporación de métodos de observación acústica		Los PAM (Passive Acoustic Methods), son un complemento importante y deberían ser siempre incorporadas a las técnicas de mitigación.
			Los PAM brindan una capacidad de localización con mayor eficacia de control de la zona de exclusión ya permite reducir el riesgo de no detectar cetáceos que no vocalicen dentro de la zona de exclusión.
			El uso de PAM no debe plantearse nunca como una alternativa a métodos de observación visual sino como un complemento para la observación visual.
			Los OMM deberán trabajar estrechamente con los operadores de seguimiento acústico. La observación visual por los OMMs con dispositivos de ayuda en combinación con PAM permite reducir el riesgo de no detectar cetáceos que no vocalicen dentro de la zona de exclusión.

5.2. ACCIONES GENERALES PARA CORREGIR EL IMPACTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO SOBRE LA FAUNA MARINA

Tabla 35 - Recomendaciones para Corregir el Impacto

RECOMENDACIONES			
Aspecto	Actividad	Especie	Acción correctiva
Avistamiento del especies dentro del área de seguridad	Soft Start (incremento gradual de potencia) o ejecución de máxima potencia	En general	Las cámaras de aire deben ser apagadas.
			Se podrá reiniciar el procedimiento "soft start" luego de haber pasado 20 minutos desde el último avistaje registrado dentro de las áreas de seguridad establecidas.
Tortugas		Se disminuirá la potencia de las cámaras hasta el nivel de presión sonora de 160 dB re 1 μ Pa rms.	
		Una vez que las tortugas se encuentren fuera del área, luego de 20 minutos, las operaciones podrán ser retomadas bajo el criterio de incremento gradual de potencia (ramp up o soft start).	
Misticetos		Se disminuirá la potencia de las cámaras hasta el nivel de presión sonora de 160 dB re 1 μ Pa rms Una vez que las especies se encuentren fuera de la respectiva área de seguridad, luego de 20 minutos, las operaciones podrán ser retomadas bajo el criterio de incremento gradual de potencia (ramp up o soft start).	
		La medida será aplicada a distancias de 1500 metros por encontrarse en peligro de extinción	
Avistamiento de especies a menos de 100 metros del centro del arreglo sísmico.	Odontocetos y/o pinnípedos	Una vez que estas especies se encuentren fuera del área de seguridad de los 100 metros, luego de 20 minutos, las operaciones podrán ser retomadas bajo el criterio de incremento gradual de potencia (ramp up o soft start).	

Tabla 36 - Recomendaciones para Corregir el Impacto

RECOMENDACIONES			
Aspecto	Actividad	Especie	Acción correctiva
Avistamiento de especies dentro de la zona de exclusión antes del soft-star	Inicio del Soft-star	Cetáceos	Se debe demorar por lo menos 30 minutos desde el último avistamiento o detección acústica localizada dentro de la zona de exclusión.
			La demora debe extenderse a 60 minutos si la profundidad es mayor a 200 metros o si la especie detectada es sensible.

5.3. ACCIONES GENERALES PARA CORREGIR EL IMPACTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO SOBRE LA FAUNA MARINA EN ACTIVIDADES TECNICAS PROPIAS DE LA OPERACIÓN

Tabla 37 - Acciones Generales ocurridas durante la Adquisición Sísmica

ACCIONES GENERALES OCURRIDAS DURANTE LA ADQUISICION SISMICA				
ACTIVIDAD		ACCION A SEGUIR ANTES DE INICIAR LA OPERACIÓN		
		Búsqueda previa	Soft start	Observaciones
Interrupción no planificada		De 30 a 60 minutos	Es necesario	.
Prueba de pistola de aire por prueba de equipo nuevo, por daño o por falla después de reparación	Una pistola	Es necesario	No es necesario	El soft start debe llevarse a cabo durante un período de tiempo proporcional al número y / o volumen de pistolas que se están probando y no debe exceder los 20 minutos de duración
	Varias pistolas	Es necesario	Es necesario	
Cambio de línea o giro de línea	Si tarda más de 40 minutos	Es necesario	Se debe iniciar un soft-start completo de 20 minutos antes del inicio de la siguiente línea	Cambio de línea o giro de línea es el término utilizado para describir la actividad de girar la embarcación al final de una línea de levantamiento antes del comienzo de la siguiente.
	Si tarda menos de 40 minutos	Es necesario	Se debe iniciar un soft-start antes del inicio de la siguiente línea(menos a 20 minutos)	

6. CONCLUSIONES

- Del análisis de los impactos ambientales significativos en las campañas sísmicas de exploración costa afuera estudiadas, se determinó que la afectación en las diferentes especies de la fauna marina es consecuencia de la descarga de los cañones de aire comprimido, utilizados para realizar los registros litológicos del subsuelo marino.
- De los impactos ambientales significativos identificados y tipificados por los autores, los más recurrentes son los impactos de tipo Físico, con una frecuencia del 37,5% de 16 impactos totales identificados. A saber: pérdida del 15% de las espinas, daño a los tejidos viscerales como cráneo y caparazón, daño a tejidos de las estructuras auditivas, cambios temporales en el umbral de audición, daños a los tejidos vitales debido a aeroembolismos y enfermedad del buzo.
- Las especies presentes en las áreas de estudio y pertenecientes a la clase taxonómica de los mamíferos y peces son más propensas a impactos de tipo físico; los primeros debido su gran tamaño y los segundos, debido a lo delicado de sus membranas epiteliales.
- De acuerdo a la tipificación de los impactos ambientales se puede deducir que los efectos que modifican el comportamiento sólo se presentan en los mamíferos y reptiles (tortugas) dentro de los cuales se encuentra los cambios de las rutas normales de migración, la dificultad para la eco-localización y la disminución en su ciclo reproductivo.

- Por medio de la herramienta visual proporcionada por el Instituto de Investigaciones marinas y costeras – INVEMAR se determinó la presencia de 30 especies en Aguas marítimas colombianas, lo cual corresponde al 47% de las identificadas en los casos de estudio analizados en este proyecto. Lo cual evidencia una importante coincidencia entre los casos estudiados y Colombia.
- De acuerdo a los parámetros de evaluación establecidos por los autores en la presente investigación, la Duración, cuyos valores de peritaje van de 1 a 10 tienen un valor predominantemente alto, siendo identificadas 44 especies en el rango de 8 a 10 puntos de la escala evaluativa, correspondiente al 68,75% del total de la población analizada en los diferentes casos de estudio, con un tiempo en los programas sísmicos de 29 a 32 semanas. Al haber mayor exposición de los diversos grupos de especies a las descargas del cañón neumático, mayor será el impacto ambiental desencadenado, llegando a causar pérdida de las membranas auditivas y sus posibles cambios comportamentales.
- La mayoría de las especies identificadas habitan en una profundidad promedio de 201 a 335 metros (34,37%) y a profundidades mayores a 2.020 metros (26.56%) de las 64 especies analizadas.
- El área o extensión del programa sísmico no es un factor determinante en la cantidad de las especies afectables.
- De acuerdo a los 16 impactos Ambientales identificados el 62,5% son Reversibles, lo cual indica que después de correr las diversas campañas sísmicas las especies presentes en el área de estudio analizadas retornaran a sus condiciones normales de desarrollo y equilibrio en el ecosistema.

- El 75% de las 64 especies analizadas según su importancia ambiental son de categoría Leve, lo cual indica que las campañas sísmicas exploratorias costa afuera no generan un deterioro grave a los recursos naturales renovables, al medio ambiente o introduce modificaciones notorias al paisaje.
- Las áreas de estudio analizadas en el presente trabajo de investigación no excluyen rangos de profundidad para el requerimiento de estudios de Impacto Ambiental, a diferencia de Colombia donde solo se requiere dicho estudio técnico en profundidades menores a los 200 metros teniendo que los bloques concedidos a la fecha superan este límite de profundidad.

7. RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación los autores identificaron otros aspectos y factores asociados al proceso de ejecución de la sísmica costa afuera y su requerimiento para concesión de permisos. Por lo tanto, a manera de recomendación, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Realizar analogías de los impactos identificados y su magnitud, entre áreas de estudio sísmico donde habiten especies en común, según la profundidad del bloque, intensidad de la fuente sísmica y profundidad de hábitad de la especie, con el objetivo de evaluar la magnitud de los impactos presentados en las especies en relación con los tres parámetros descritos.
- En el momento en el cual se esté realizando el avistamiento de especie por parte de observadores de mamíferos marinos-OMM en el buque sísmico se recomienda utilizar ecosondas, con el fin de ahuyentar las especies de la zona y generar una menor afectación al momento de la primera descarga de las cámaras de aire comprimido y el desarrollo de la campaña sísmica.
- Los geofísicos pueden evaluar por medio de ensayos de laboratorio basados en la formación litológica a estudiar, los decibeles adecuados o exactos para realizar el estudio sísmico, antes de ejecutarlo en altamar a fin de generar la menor afectación posible y captar un óptimo registro y descripción litológica del subsuelo marino.
- Se recomienda a las autoridades ambientales solicitar la presentación de planes de manejo ambiental al momento de realizar sísmica costa afuera con el fin de prevenir, mitigar y corregir impactos significativos en la fauna marina que habite el área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. 01-12 Cifras y estadísticas 2010-2017. (enero - septiembre, 2010- 2017). Bogotá D.C. 2017.

ANDRÉ, Michel., SOLÉ Marta., et Al. Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. In: The ecological Society of America. Published on line, April 11 of 2011, Vol. 9: 489-493. 5 p.

ARGENTINA. MINISTERIO DE ECONOMIA Y OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS. Secretaria de energía. Resolución N° 105 (11, noviembre, 92). Buenos Aires: El ministerio, 1992. 23 p.

ARGENTINA. PODER LEGISLATIVO DE LA PROVINCIA DE SANTAN CRUZ. Ley de evaluación de impacto ambiental, Ley N° 2658 (4, enero, 2006). Buenos Aires. 2006. 13 p.

AUSTRALIAN PETROLEUM PRODUCTION EXPLORATION ASSOCIATION. Marine seismic surveys. Analysis and propagation of air-gun signals, and effects of air-gun exposure of humpback whales, sea turtles, fishes and squid. Australia. 2000. 203 p.

BOWLES, Ann E., SMULTEA, Mari., WÜRSIG, Bernd., et Al. Relative abundance and behavior of marine mammals exposed to transmissions from the Heard Island

Feasibility Test. In: Journal of the acoustical Society of America. Published in 1994. Vol 96. 16 p.

BPZ, EXPLORACIÓN & PRODUCCIÓN S.R.L. Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto de “Levantamiento Sísmico 3D en el Lote Z-1 –Región Tumbes”: Capítulo ii: descripción del proyecto. Perú. 22010. 27 p.

CASTELLOTE, Manuel., CLARK, Christopher W., LAMMERS Marc O. Potential negative effects in the reproduction and survival on fin whales by shipping and airguns noise. In: International Whaling Commission report. Published January of 2010. 12 p.

CHRISTIAN Jhon R., MATHIEU Anne., et Al. Effect of Seismic Energy on Snow Crab. In: Environmental Studies Research Fund. Published November 7 of 2003. 84 p.

COLOMBIA GENERA 2017. PANEL: OFFSHORE, UN MAR DE OPORTUNIDADES. Febrero 23 de 2017. Cartagena, Colombia. Velandia Sepúlveda, Orlando. Presidente Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2041 (15 octubre, 2014). Por el cual se reglamenta el título de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. VIII Bogotá D.C.: El ministerio, 2014. 51 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. Dirección General Marítima. Solicitud N° 292017103004. Bogotá D.C. mayo 12 de 2017. 1 p.

CONESA Fernández V. Guía Metodológica para la evaluación del Impacto Ambiental. Segunda Edición. Madrid, España. 1993. 61 p.

ECOLOGISTAS EN ACCION. Prospecciones ecologistas en acción: Impactos en el medio marino de los sondeos y exploraciones de la industria de hidrocarburos. España. 2014. 36 p.

ENGAS Arill., LOKKERBORG Svein., ONA Egil., et Al. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). In: Can J. Fish. Aquat. Published: April 1 of 1996. P:2238-2249. 12 p.

ERM ARGENTINA. Informe ambiental de proyecto exploración sísmica offshore y onshore restinga alí 3D, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. Capítulo N° II – Descripción de Proyecto. Argentina. 2014. 44 p.

ESPAÑA. JUAN CARLOS I, REY DE ESPAÑA. Ley de evaluación ambiental. Ley 21 (11, diciembre, 2009). Madrid. 2009. 77 p.

FEWTRELL J.L., MCCAULEY R.D., Impact of air gun noise on the behavior of marine fish and squid. In: Marine Pollution Bulletin, Published 2012. Vol 64: 984-993. 10 p.

HASSEL Arne., KNUTSEN Tor., DALEN John., et Al. Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (*Ammodytes marinus*). In: ICES Journal of Marine Science. Published 2004. Vol 61:1165–1173. 9 p.

HOLLIDAY David., et Al. The effects of air gun energy releases on the eggs, larvae and adults of the northern anchovy (*Engraulis mordax*). In: American Petroleum Institute. Publication 4453. Published: 1987. 23 p.

ION. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL- Proyecto levantamiento sísmico 2D y 3D regional de la franja costera del Perú Tumbes – Tacna: Capitulo. IV: Identificación y evaluación de los impactos. Perú: 2008. 30 p.

IWC - INTERNATIONAL WHALING COMMISSION. Report of the Scientific Committee. Annex K. report of the Standing Working Group on Environmental Concerns. In: Journal of Cetacean Research and Management. Published 2005. P 267-305. 38 p.

JOINT NATURE CONSERVATION COMMITTEE – Guidelines for minimizing the risk of injury to marine mammals from geophysical surveys. Published August of 2017. 28 p.

LAMONT-DOHERTY EARTH OBSERVATORY y NATIONAL SCIENCE FOUNDATION DIVISION OF OCEAN SCIENCES. Evaluación de impacto ambiental de la región para la secretaria de México; Levantamiento sísmico marino

del navío de investigaciones Maurice Edwin fuera de la costa septentrional de Yucatán. México. 2004. 156 p.

LGL LIMITED y OCEANS LTD. Effect of seismic energy on snow crab. Alaska. 2003. 84 p.

MANDRAK Nicholas E., CUDMORE Becky Risk. Assessment for Asian Carps in Canada. Fisheries and Oceans Canada. In: Great Lakes Laboratory for Fisheries and Aquatic Sciences. Published 2004- 45 p.

MATISHOV G.G. The Reaction of Bottom-Fish Larvae to Airgun Pulses in the Context of the Vulnerable Barent Sea Ecosystem. Fisheries and Offshore Petroleum Exploitation. In: Second International Conference. (6–8 April of 1992 Bergen, Norway). 20 p.

McCAULEY Robert.D., et Al. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. In: Journal. Acoustical Society of. America. Published: 2003. Vol 113: 638–642. 5 p.

MÉXICO. EL CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Ultima reforma publicada DOF 09-01-2015 (8, Julio ,2015). México: 2015. 128 p.

MOEIN Soraya E., et Al. Evaluation of Seismic sources for repelling sea turtles from Hopper Dredges. The Virginia Institute of Marine Science College of William and Mary Gloucester Point. Published1994 .100 p.

OCEANA. Alegaciones Campaña Sísmica 2D en Áreas Libres del Mediterráneo Noroccidental- Mar Balear. Contestación Consulta sobre Proyecto 20130253PHC. España. 2014. 23 p.

PAN AMERICAN ENERGY LLC y EZCURRA & SCHMIDT S.A. Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera: Capítulo IV - Descripción de Proyecto. Argentina. 2012. 14 p.

PAN AMERICAN ENERGY LLC y EZCURRA & SCHMIDT S.A. Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera: Capítulo VI - Sensibilidad Ambiental y Social. Argentina. 2012. 110 p.

PAN AMERICAN ENERGY LLC y EZCURRA & SCHMIDT S.A. Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera: Capítulo VIII - Evaluación de Impactos. Argentina. 2012. 72 p.

PAN AMERICAN ENERGY LLC y EZCURRA & SCHMIDT S.A. Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera: Capítulo IX - Plan de Mitigación y Monitoreo. Argentina. 2012. 20 p.

PAN AMERICAN ENERGY LLC y EZCURRA & SCHMIDT S.A. Estudio de impacto ambiental y social previo a la prospección sísmica costa afuera: Capítulo X - Plan de Contingencias. Argentina. 2012. 44 p.

PERU. EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA. Aprueban reglamento para la protección de ambiental en actividades de hidrocarburo. Decreto supremo N° 039-2014-EM (12, noviembre, 2014). Lima. 2014. 41 p.

PETRO-TECH PERUANA S.A. Identificación y evaluación de impactos ambientales y sociales. Perú. 2006. 60 p.

PRACA Emile., GANNIER Alexandre., et Al. Modelling the habitat suitability of cetaceans: Example of the sperm whale in the northwestern Mediterranean Sea. In: Deep-Sea Research. Published 2009. Vol: 56: 648-657. 10 p.

REPSOL. Documento inicial proyecto sondeos exploratorios marinos en canarias. Peru:. 2013. 114 p.

SHARP Loren. A Review of Effects of Seismic Testing on Marine Fish and Fisheries as Applied to the DCPD 3-D Seismic Project. Report prepared for Tenera Environmental. Published November 29 of 2011. 34 p.

SK ENERGY. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD y 3D, y perforación exploratoria en el lote Z-46. Capítulo 2: Descripción del Proyecto. Perú. 2009. 57 p.

SK ENERGY. Estudio de impacto ambiental para el proyecto de adquisición sísmica 2D, 2DAD y 3D, y perforación exploratoria en el lote Z-46. Capítulo 6: Plan de Manejo Ambiental. Perú. 2009. 112 p.

SKALSKI John R., PEARSON Walter H., MALME Charles I. Effects of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes* spp.). In: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. Vol 49:1357- 1365. 9 p.

SLOTTE Aril., HANSEN Kaare., DALEN John., ONA Egil. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. In: Fisheries Research. Published 2004. Vol 67: 143–150. 8 p.

SUBMON CONSERVACION, ESTUDIO DEL MEDIO MARINO. Prospecciones Sísmicas marinas: acuerdo de medidas de mitigación del efecto en los cetáceos de aguas españolas e identificación de áreas sensible. Memoria final. 2011. 47 p.

VIRGINIA INSTITUTE OF MARINE SCIENCE COLLEGE OF WILLIAM AND MARY GLOUCESTER POINT. Estados Unidos. 1994. 42 p.

WALE Matthew A., SIMPSON Stephen D., RADFORD Andrew N. Noise negatively affects foraging and antipredator behaviour in shore crabs. In: Animal Behaviour. Published 2003. Vol 86: 111-118. 8 p.