

ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA DESDE  
LA PERSPECTIVA AMBIENTAL EN AGUAS SOMERAS, PROFUNDAS Y ULTRA  
PROFUNDAS EN COLOMBIA CON BASE EN INFORMACIÓN DE ORIGEN  
ACADÉMICA Y CIENTÍFICA

CAROL JULIANA BAUTISTA GÓMEZ  
ANGÉLICA MARÍA DELGADO CARDOZO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FISICOQUÍMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA

2017

ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA DESDE  
LA PERSPECTIVA AMBIENTAL EN AGUAS SOMERAS, PROFUNDAS Y ULTRA  
PROFUNDAS EN COLOMBIA CON BASE EN INFORMACIÓN DE ORIGEN  
ACADÉMICA Y CIENTÍFICA

CAROL JULIANA BAUTISTA GÓMEZ  
ANGÉLICA MARÍA DELGADO CARDOZO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería de Petróleos

Director

Harving Díaz Consuegra

Ingeniero de Petróleos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD FISICOQUÍMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

BUCARAMANGA

2017

## CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN .....	13
1 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	14
2 MARCO JURÍDICO .....	20
3 MARCO CONCEPTUAL DE LA PERFORACIÓN COSTA AFUERA.....	24
3.1 ACTIVIDADES DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA.....	24
3.2 CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS .....	25
3.2.1 Alteración de la calidad del aire. ....	29
3.2.2 Alteración de los sedimentos del lecho marino .....	29
3.2.3 Alteración de los niveles de presión sonora atmosférica .....	30
3.2.4 Alteración e interferencia de ecosistemas de fondos blandos .....	31
3.2.5 Alteración e interferencia de hábitats de especies ícticas.....	32
3.2.6 Alteración e interferencia de hábitats de comunidades planctónicas ...	33
3.2.7 Alteración e interferencia de hábitats de tortugas marinas .....	34
3.2.8 Alteración e interferencia de hábitats de mamíferos marinos .....	34
3.2.9 Alteración por introducción de especies exóticas .....	35
3.2.10 Alteración e interferencia de hábitats de aves marinas.....	36
4 PERFORACIÓN COSTA AFUERA EN OTROS PAÍSES .....	37
4.1 CASOS DE ESTUDIO .....	37
4.1.1 Disposición de cortes y lodos base agua .....	38
4.1.2 Disposición de cortes y lodos base aceite, agua y sintética.....	54
4.1.3 Disposición de cortes y lodos base aceite .....	56
4.1.4 Etapa de perforación.....	61

5	IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA EN COLOMBIA .....	83
6	RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO AMBIENTAL DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA.....	104
7	CONCLUSIONES .....	107
8	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	110
	ANEXO .....	116

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Expedientes seleccionados en la visita al ANLA.....	16
Tabla 2. Síntesis de la nomenclatura para la evaluación de impactos ambientales .....	17
Tabla 3. Normativa Colombiana sobre la perforación costa afuera .....	20
Tabla 4. Convenios y protocolos adoptados por Colombia en el área costa afuera .....	22
Tabla 5. Encuestas seleccionadas y resumen de las variables ambientales que controlan la composición de la comunidad bentónica del Mar del Norte .....	38
Tabla 6. Consecuencia de la exposición de bario a platijas y langostas.....	44
Tabla 7. Resultados caso de estudio Mar del Norte .....	45
Tabla 8. Resultado caso de estudio Exxon USA.....	52
Tabla 9. Origen de algunos metales en plataformas del Mar Adriático.....	54
Tabla 10. Impactos de los foraminíferos bentónicos evaluados en 5 estaciones alrededor de la plataforma Perpetua 2, Angola .....	60
Tabla 11. Evaluación del impacto ambiental durante la fase de construcción .....	67
Tabla 12. Evaluación del impacto ambiental durante la fase de operación .....	69
Tabla 13. Tabla resumen de los 25 casos de estudio analizados.....	73
Tabla 14. Generalidades de ocho bloques ubicados en el Caribe Colombiano .....	83
Tabla 15. Calificación de la influencia del impacto.....	89
Tabla 16. Matriz resumen .....	90

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Esquema para la selección de artículos a través de cinco filtros .....	15
Figura 2. Localización casos de estudio .....	72
Figura 3. Esquema de identificación de impactos para la etapa de movilización ..	86
Figura 4. Esquema de identificación de impactos para la etapa de perforación ....	87
Figura 5. Esquema de identificación de impactos para la etapa de desmovilización .....	88
Figura 6. Número de actividades generadoras de impacto por etapa.....	98
Figura 7. Impactos significativos de la etapa de perforación .....	100
Figura 8. Impactos totales por aspecto ambiental.....	101
Figura 9. Calificación general de los impactos en todas las etapas.....	102

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A: GLOSARIO .....	116

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA DESDE LA PERSPECTIVA AMBIENTAL EN AGUAS SOMERAS, PROFUNDAS Y ULTRA PROFUNDAS EN COLOMBIA CON BASE EN INFORMACIÓN DE ORIGEN ACADÉMICA Y CIENTÍFICA\*.

**AUTORES:** CAROL JULIANA BAUTISTA GÓMEZ\*\*.  
ANGÉLICA MARÍA DELGADO CARDOZO\*\*\*.

**PALABRAS CLAVE:** IMPACTOS AMBIENTALES, PERFORACIÓN, COSTA AFUERA.

### DESCRIPCIÓN:

La perforación costa afuera en Colombia es una actividad incipiente y de gran importancia de allí que se requiera especial atención a las áreas donde se realizan estas actividades, para ello se pretende identificar los impactos ambientales que las afectan y así dar cumplimiento al objetivo que busca alcanzar este trabajo. Debe tenerse en cuenta que la industria de los hidrocarburos es uno de los principales motores económicos del país y que posee una considerable influencia sobre el medio ambiente, la operación conjunta y eficiente de estos aspectos generará el desarrollo exitoso de la industria a través de un manejo ambiental mejorado. Con el fin de alcanzar el objetivo del trabajo se analizaron los impactos ambientales de las operaciones de perforación costa afuera con base en información técnico-científica, iniciando con el reconocimiento de las alteraciones evaluadas en diferentes puntos geográficos del mundo y posteriormente las identificadas en Colombia a partir del análisis de los estudios de impacto ambiental radicados y evaluados por la autoridad ambiental colombiana para proyectos que hayan obtenido licencia ambiental. Basándose en este análisis se establecieron los impactos más significativos y que mayor potencial de daño poseen sobre el medio ambiente y se plantearon una serie de recomendaciones que controlan estos impactos.

---

\* Trabajo de grado.

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

\*\*\*Ídem

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS OF THE OFFSHORE DRILLING PROCESSES FROM THE ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE IN SHALLOW, DEEP AND ULTRA-DEEP WATERS IN COLOMBIA BASED ON INFORMATION OF ACADEMIC AND SCIENTIFIC ORIGIN \*.

**AUTHOR:** CAROL JULIANA BAUTISTA GÓMEZ\*\*.  
ANGÉLICA MARÍA DELGADO CARDOZO\*\*\*.

**KEYWORDS:** ENVIRONMENTAL IMPACTS, DRILLING, OFFSHORE

### DESCRIPTION:

Offshore drilling in Colombia is an incipient and very important activity that requires special attention to the areas where these activities are carried out, for which purpose it is intended to identify the environmental impacts that affect them and thus fulfill the objective that seeks to achieve this work. It must be taken into account that the hydrocarbons industry is one of the main economic engines of the country and that it has a considerable influence on the environment, the joint and efficient operation of these aspects will generate the successful development of the industry through a management improved environmental

In order to achieve the objective of the work, the environmental impacts of offshore drilling operations were analyzed based on technical-scientific information, beginning with the recognition of the alterations evaluated in different geographical locations of the world and subsequently those identified in Colombia from the analysis of the environmental impact studies filed and evaluated by the Colombian environmental authority for projects that have obtained an environmental license. Based on this analysis, the most significant impacts and the greatest potential for damage to the environment were established and there are a series of recommendations that control these impacts.

---

\* Degree Project.

\*\* Faculty physic chemical Engineering. Petroleum Engineering School. Director: Harving Díaz Consuegra.

\*\*\* Ídem

## INTRODUCCIÓN

El inicio de las operaciones de perforación costa afuera en Colombia se remonta a la década de los setentas con el descubrimiento del campo Chuchupa en 1974 por la empresa Texaco, por lo que se podría decir que no es una industria reciente, pero así mismo no ha adquirido la madurez idónea por causa de un período de recesión que se evidenció a finales del siglo pasado, impidiendo el desarrollo de actividades que ampliaran la experiencia de este tipo de proyectos en el país. Debido a que el sector minero-energético colombiano es uno de los principales motores de desarrollo para el país se hace necesario destinar mayor atención a los proyectos costa afuera, partiendo de la identificación y conocimiento de los impactos ambientales que alteran el ecosistema ya que es la base para el desarrollo exitoso de la industria petrolera.

El presente documento analiza los impactos ambientales de las operaciones de perforación costa afuera con base en información técnico-científica, iniciando con los resultados de la investigación selectiva y sistemática de estas alteraciones a nivel mundial y posteriormente los identificados en Colombia a partir de estudios de impacto ambiental radicados y evaluados por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales para proyectos que hayan obtenido licencia ambiental. Finalmente, se encontrarán una serie de recomendaciones para el manejo ambiental de los efectos nocivos más significativos proyectados por estas operaciones.

## 1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo del trabajo se realiza una serie de actividades que buscan organizar y cumplir a cabalidad con los objetivos planteados, estas tareas son enunciadas en orden cronológico a continuación:

### **Revisión bibliográfica de las operaciones de perforación costa afuera**

En esta fase se hizo un barrido de información bibliográfica y electrónica de las operaciones de perforación costa afuera con el fin de conocer su funcionamiento, para así elegir la información más relevante y entender el contexto en el que los impactos ambientales se presentan.

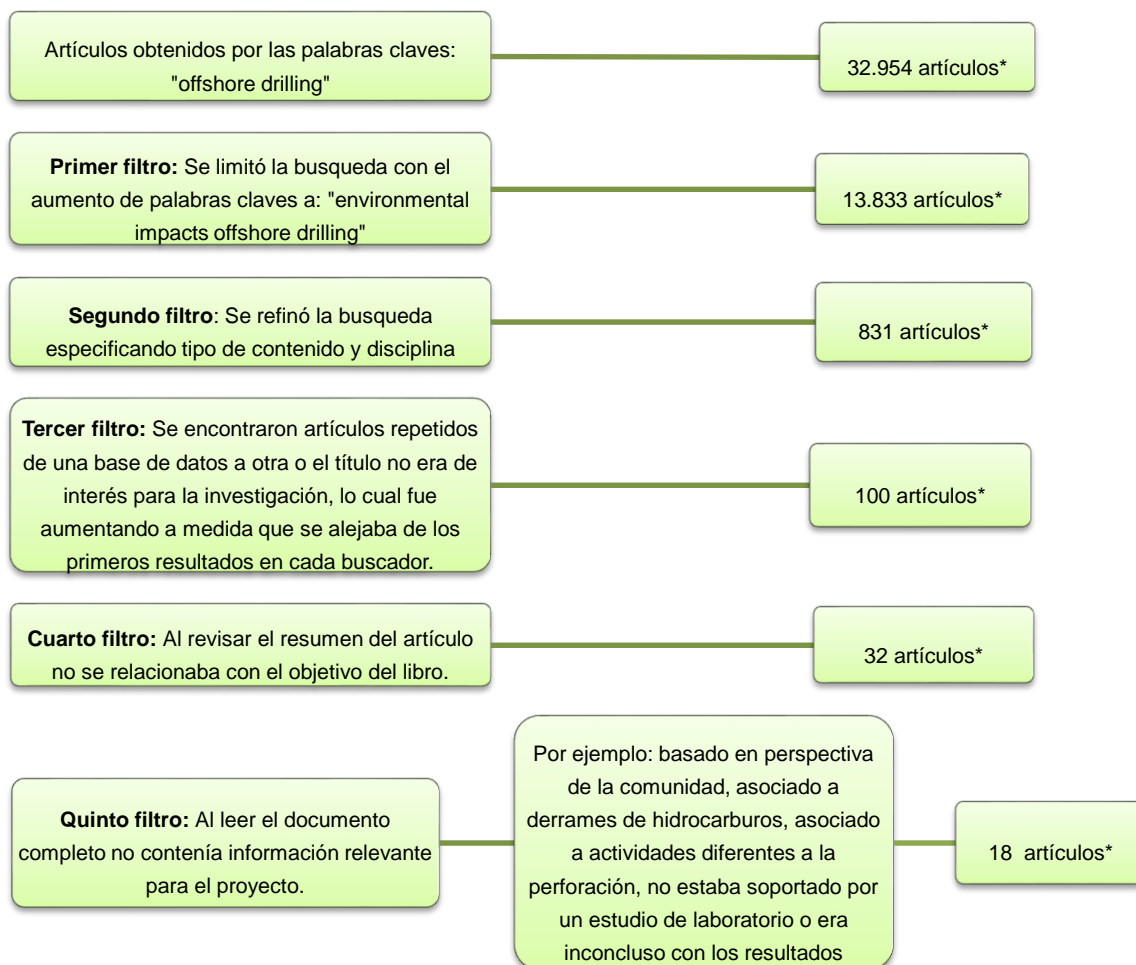
### **Revisión bibliográfica de la normativa legal para los procedimientos de perforación costa afuera**

En esta etapa se encontraron los requisitos legales tanto nacionales como internacionales que regulan las actividades de perforación costa afuera en Colombia, desde la movilización de la unidad de perforación y embarcaciones de apoyo hasta el abandono del pozo. En Colombia no hay un marco legal enfocado únicamente a las operaciones costa afuera, sino que se encuentra de forma general para la industria petrolera o cualquier tipo de intervención en el mar colombiano, por lo cual se debió seleccionar las partes de las leyes, decretos y/o resoluciones que involucran las regulaciones de la perforación costa afuera.

### **Revisión bibliográfica de los impactos ambientales inherentes a las operaciones de perforación costa afuera**

En esta fase se hizo un barrido de información bibliográfica y electrónica de los impactos ambientales asociados a las actividades de perforación costa afuera con el fin de identificarlos a partir de referencias bibliográficas confiables y validadas por investigaciones de calidad con el siguiente proceso:

Figura 1. Esquema para la selección de artículos a través de cinco filtros



Nota: \*Número de artículos resultantes de cada filtro

- I. Se ingresó a la biblioteca virtual de la Universidad Industrial de Santander y se inició la búsqueda de documentos en bases de datos multidisciplinarias como: EISEVIER, SCOPUS, SpringerLink, Web of Science y OnePetro.

- II. Se seleccionaron los documentos académicos que se consideraron eran útiles para el desarrollo de este documento mediante filtros que centraran la búsqueda como se muestra en la Figura 1.
- III. De los 18 artículos seleccionados se tomó la información que se consideró destacada para ser plasmada en el documento.

**Identificación de los impactos ambientales de las operaciones de perforación costa afuera en Colombia**

Se solicitó información a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y luego se hizo necesario dirigirse a las oficinas de la autoridad ambiental en la ciudad de Bogotá para sacar copias de los 8 expedientes seleccionados, tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Expedientes seleccionados en la visita al ANLA

EXPEDIENTE ANLA	NOMBRE DEL PROYECTO
<b>LAV0007-12</b>	Área de Perforación Exploratoria Marina RC9.
<b>LAM5901</b>	Área de Interés de Perforación Exploratoria costa afuera Jarara, bloque Tayrona.
<b>LAM3631</b>	Área de Interés de Perforación Exploratoria Tayrona.
<b>LAV0069-13</b>	Área de Perforación Exploratoria Marina Siluro.
<b>LAM5026</b>	Área de Perforación Exploratoria Marina Fuerte Norte.
<b>LAM4701</b>	Perforación exploratoria de los bloques RC4 y RC5.
<b>LAM4971</b>	Área de Perforación Exploratoria Marina bloque Fuerte Sur.
<b>LAV0052-00-2015</b>	Área de Perforación Exploratoria Marina Purple Angel.

Con base en los estudios de impacto ambiental radicados y evaluados por la ANLA se identificaron los impactos ambientales más relevantes y transversales en el país para proyectos que hayan obtenido licencia ambiental.

Debido a que cada empresa selecciona la entidad de preferencia para elaborar el correspondiente estudio ambiental existen discrepancias de una a otra, entre estas se encuentran las siguientes:

- I. El nombre de los impactos ambientales difería de un estudio de impacto ambiental a otro.
- II. La nomenclatura utilizada para clasificar los impactos fue diferente de un estudio a otro, al igual que la metodología empleada.
- III. Algunos impactos no fueron evaluados por todos los estudios.

En busca de unificar las diferencias se homologó el nombre de los impactos que representaban el mismo daño ambiental, pero eran llamados de forma diferente mediante el análisis de los estudios y la descripción dada a cada impacto; en cuanto a tipificar la clasificación de los impactos se asociaron los términos que califican la afectación de cada proyecto para obtener una nomenclatura propia como se presenta en la Tabla 2, la cual es utilizada a lo largo de este documento.

Tabla 2. Síntesis de la nomenclatura para la evaluación de impactos ambientales

<b>Bloque</b>	<b>Irrelevante</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>	<b>Crítico</b>
APEM* RC9	Baja	Media	Alta	Muy alta
AIPE** Jarara, Bloque Tayrona	Irrelevante	Moderado	Severo	Crítico

<b>Bloque</b>	<b>Irrelevante</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>	<b>Crítico</b>
AIPE** Tayrona.	Irrelevante	Moderado	Severo	Crítico
APEM* Siluro	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pozo Siluro 1, APEM* Siluro	Muy baja y baja	Media	Alta	Muy alta
APEM* Fuerte Norte y Calasú 1	Muy baja y baja	Media	Alta	Muy alta
Bloques RC4 y RC5.	Bajo e insignificante	Moderado	Alto	Crítico
Pozo Mapalé 1, Bloque RC5	Nulo, imperceptible e irrelevante	Moderado	Severo	Crítico
APEM* Bloque Fuerte Sur y Kronos1.	Muy baja y baja	Media	Alta	Muy alta
APEM* Purple Angel.	Baja	Media	Alta	Crítica

\*APEM = Área de Perforación Exploratoria Marina

\*\*AIPE = Área de Interés de Perforación Exploratoria

Una vez solucionadas las discrepancias se procedió a elaborar una matriz que contiene los impactos proyectados por las empresas operadoras en cada una de las áreas encontradas con el fin de identificar cuáles son los más relevantes y que mayor deterioro causan al medio ambiente.

## **Revisión bibliográfica y tratamiento de las recomendaciones para el manejo ambiental de los impactos en las operaciones de perforación costa afuera**

Se investigaron recomendaciones para el manejo ambiental de los impactos proyectados más relevantes de acuerdo con su intensidad y su frecuencia para las operaciones de perforación costa afuera con base en información técnico-científica y se identificaron cuáles de estas recomendaciones son de mayor importancia para los impactos ambientales a los que mayor seguimiento se les debe dar por su afectación y frecuencia en Colombia.

## 2 MARCO JURÍDICO

El desarrollo de proyectos que incluyan variables ambientales forma parte de un marco legal e institucional que sirve de guía y soporte para establecer su implementación.

A continuación, se presenta la legislación aplicable en el Territorio Nacional para las operaciones de perforación costa afuera (Tabla 3).

Tabla 3. Normativa Colombiana sobre la perforación costa afuera

NORMA	MATERIA
<b>Decreto 1875 de 1979 de la República de Colombia Ministerio de Agricultura</b>	Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.  Artículos 2, 3 y 9
<b>Acuerdo No. 04 de 2012 de la Agencia Nacional de Hidrocarburos</b>	Por el cual se establecen criterios de administración y asignación de áreas para exploración y explotación de hidrocarburos propiedad de la Nación; se expide el Reglamento de Contratación correspondiente, y se fijan reglas para la gestión y el seguimiento de los respectivos contratos.

NORMA	MATERIA
<b>Ley 99 de 1993 del Congreso de Colombia</b>	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones.
<b>Ley 1450 de 2011 del Congreso de la República</b>	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 y en particular.  Artículo 207° sobre la conservación de ecosistemas de arrecifes de coral.
<b>Decreto 3930 de 2010 del presidente de la República</b>	Por el cual se reglamenta los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
<b>Decreto 1895 de 1973 del Presidente de la República</b>	Por el cual se dictan las normas sobre exploración y explotación de petróleos y gas.  Artículos 37, 94 y 95
<b>Decreto 948 de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente</b>	Por el cual se reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.  Artículo 73

NORMA	MATERIA
<b>Resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</b>	Por el cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.  Artículos 9 y 17

De forma complementaria, Colombia ha adoptado convenciones y protocolos internacionales aplicables al área de interés relacionada, entre los cuales se encuentran los presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Convenios y protocolos adoptados por Colombia en el área costa afuera

NORMA	MATERIA
<b>Ley 12 de 1981 del Congreso de Colombia (MARPOL)</b>	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques", dada en Londres el 2 de Noviembre de 1973.
<b>Ley 356 de 1997 del Congreso de Colombia</b>	Por medio de la cual se aprueban el "Protocolo relativo a las áreas de flora y fauna silvestres especialmente protegidas del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio

	<p>Marino de la Región del Gran Caribe", hecho en Kingston el 18 de enero de 1990 y los anexos adoptados en Kingston el 11 de junio de 1991.</p>
<p><b>Ley 357 de 1997 del Congreso de Colombia</b></p>	<p>Por medio de la cual se aprueba la "Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas", suscrita en la ciudad de Ramsar-Irán el 2 de febrero de 1971"</p>

### 3 MARCO CONCEPTUAL DE LA PERFORACIÓN COSTA AFUERA

Uno de los logros notables de la industria petrolera ha sido el desarrollo de tecnología que permite perforar pozos en el mar para acceder a recursos energéticos adicionales. El proceso básico de perforación de pozos costa afuera no es significativamente diferente del proceso realizado en tierra. Las principales diferencias son el tipo de plataforma de perforación y los métodos modificados utilizados para llevar a cabo las operaciones en una situación más compleja.

Para el desarrollo de la temática se hace necesario definir la clasificación del agua según la profundidad de su columna, de la siguiente forma:<sup>1</sup>

- **Aguas someras**, se refiere a la columna de agua menor a los 500 metros (1640 ft)
- **Aguas profundas**, se refiere a la columna de agua que está en el rango de los 500 a los 1500 metros (4921 ft).
- **Aguas ultra profundas**, se refiere a la columna de agua mayor a los 1500 metros.

#### 3.1 ACTIVIDADES DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA

Algunas de las actividades de las operaciones de perforación costa afuera son:

- Movilización de la unidad de perforación y embarcaciones de apoyo
- Posicionamiento y anclaje de la unidad de perforación

---

<sup>1</sup> MINAMBIENTE-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ANLA-Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2016). *Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental-EIA en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera*. Bogorá D.C.

- Perforación de pozos
  - Perforación del pozo
  - Uso y aprovechamiento de los recursos naturales
    - Captación de aguas marinas
    - Vertimiento
- Pruebas cortas de producción y completamiento
- Abandono y desmovilización
  - Taponamiento y abandono
  - Desconexión del conjunto de preventoras

### **3.2 CONSIDERACIONES ECOLÓGICAS**

En esta sección se da la explicación de conceptos técnicos necesarios para entender los impactos ambientales que generan las diversas actividades a lo largo de la perforación costa afuera enfocados al vertimiento y disposición de residuos líquidos y sólidos ya que estos podrían ser las mayores descargas que entran a las masas de agua. Los parámetros de control para medir el impacto de la descarga de cortes y lodos de perforación difieren según el componente ambiental analizado ya sea calidad de agua o sedimentos, como sigue:

**Para calidad del agua**, se analiza la salinidad, transparencia, oxígeno disuelto, nutrientes (fósforo, nitrógeno y silicatos), elementos traza (Fe, Zn, Cr y As), demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, porcentaje de saturación, temperatura, conductividad, pH, sólidos (totales, disueltos y suspendidos) y grasas y aceites.

**Para calidad del sedimento**, se estudia la granulometría, materia orgánica, elementos traza (Fe, Zn, Cr, As), hidrocarburos aromáticos polinucleares, calcio, sodio y potasio.

Una vez depositados los cortes, la presencia de estos y las altas concentraciones de metales e hidrocarburos dependerá de la energía natural de re-suspensión y transporte en el fondo marino, de la cantidad de alteración biológica y de la tasa de biodegradación del fluido. Las tasas de biodegradación dependen de las condiciones del fondo marino (temperatura, disponibilidad de oxígeno, tipo de sedimento, concentración de fluidos en los sedimentos) así como del tipo de líquido, por ejemplo: el petróleo crudo, el diésel y otros hidrocarburos de cadena larga y altamente ramificados son más difíciles de digerir para los microbios, a diferencia de las moléculas de hidrocarburos de cadena corta como las utilizadas en los fluidos de base sintética, que son más fáciles de consumir. Los estudios han demostrado que la degradación se produce más rápidamente en condiciones aeróbicas, como las que se producen en la superficie expuesta a los cortes, que en condiciones anaeróbicas como las que se encuentran dentro de una acumulación de cortes.<sup>2</sup>

Los impactos a la columna de agua por la descarga de los cortes de lodos base sintética se consideran insignificantes debido a que estos se asientan rápidamente (es decir, los tiempos de exposición en la columna de agua son bajos) y la solubilidad en el agua de los fluidos es igualmente baja. Los impactos por la descarga de lodos base agua (Water Based Drilling Fluid por sus siglas en inglés WBF) tampoco son representativos, ya que la mayoría de los ingredientes del lodo de perforación no son tóxicos o se usan en cantidades tan pequeñas que no contribuyen a su toxicidad. Lignosulfonato de cromo y ferrocromo son los componentes más tóxicos de estos fluidos, aunque estos defloculantes están siendo reemplazados por alternativas no tóxicas para reducir el riesgo ecológico de la

---

<sup>2</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

descarga de perforación<sup>3</sup>; otro ingrediente de los lodos base agua es el glutaraldehído que se usa para controlar el crecimiento bacteriano, aunque se dosifica en pequeñas cantidades de 0.2-1.0 kg/m<sup>3</sup> es tóxico, sin embargo, se destruye rápidamente por la degradación biológica y la reducción por oxidación de la materia orgánica cuando se descarga al medio marino. Si se usa en gran exceso en un lodo polimérico, el glutaraldehído podría persistir lo suficiente en el lodo y los cortes y ser tóxico para los organismos pelágicos.<sup>4</sup>

La acumulación de lodo y cortes en el fondo marino puede contener concentraciones altas de varios metales, particularmente Bario proveniente de la barita del lodo de perforación u otros metales como Cromo, Cobre, Plomo, Arsénico y Zinc que son los comúnmente encontrados. Los metales asociados con la barita o las pilas de cortes tienen una baja biodisponibilidad para los animales marinos y generalmente no se acumulan en los tejidos de los organismos bentónicos. Cuando los WBF y los cortes son descargados al mar, las partículas más grandes y los sólidos floculados, que representan aproximadamente el 90% de la masa de los sólidos del lodo, forman una columna que se deposita rápidamente en el fondo y el 10% restante consiste en partículas de grano fino no floculadas de tamaño de arcilla y una porción de componentes solubles del lodo en la columna de agua que se diluye rápidamente.<sup>5</sup>

Existen diferentes métodos utilizados para las pruebas de toxicidad del lodo de perforación que difieren según la región donde se aplique. En los Estados Unidos se utiliza el lodo completo para las pruebas, y en países del Mar del Norte y Rusia se ponen a prueba los componentes individuales del lodo, el resultado final para los

---

<sup>3</sup> AGWA, A., LEHETA, H., SALEM, A., & SADIQ, R. (2012). Fate of drilling waste discharges and ecological risk assessment in the Egyptian Red Sea: an equivalence-based fuzzy analysis. *SpringerLink*, 1-13.

<sup>4</sup> Neff, J. (2005). Composition, environmental fates, and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment. 35-47.

<sup>5</sup> AGWA, A., LEHETA, H., SALEM, A., & SADIQ, R. (2012). Fate of drilling waste discharges and ecological risk assessment in the Egyptian Red Sea: an equivalence-based fuzzy analysis. *SpringerLink*, 1-13.

fluidos de perforación base agua es muy similar para ambos ensayos y se concluye que existe un bajo riesgo de toxicidad química<sup>6</sup> o puede considerarse prácticamente no tóxico de acuerdo con el ranking de toxicidad del Joint Group Experts on Scientific Aspects of Marine Environmental Protection - GESAMP.<sup>7</sup>

El potencial de efectos biológicos es bajo y depende principalmente de la energía del ambiente del fondo marino. Cuando se observan impactos, parecen ser de naturaleza física, altamente localizados y temporales. Los efectos principales (en algunos casos la ausencia completa de especies bentónicas) se limitan a zonas que van desde 250 m (820,21 ft) hasta 500 m (1640,42 ft) en el sitio de perforación. En esta zona es probable que la recuperación sea lenta, aproximadamente de un año. Alrededor de esta zona de efectos mayores se encuentra una zona de transición en la que se detectan efectos biológicos menores.<sup>8</sup>

Habiendo dado un enfoque acerca de las generalidades de la disposición de cortes y lodos, se expondrá los impactos asociados a las labores de perforación en altamar con relación al componente ambiental afectado, ya sea agua, aire, lecho marino o comunidades bióticas como sigue.

Alteración de la calidad del agua. Uno de los efectos sobre la calidad del agua debido a las operaciones en alta mar es el aumento de la turbidez alrededor del pozo ocasionada por diversas actividades como el posicionamiento y desmantelamiento de la unidad de perforación y la disposición de residuos sólidos, líquidos, lodos y cortes. Los aditivos químicos presentes en los cortes y lodos de perforación se desprenden en el punto de descarga y alteran localmente la calidad

---

<sup>6</sup> Neff, J. (2005). Composition, environmental fates, and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment. 35-47.

<sup>7</sup> OKOGBUE, C. O., ANYIAM, O. A., & ADUN, A. A. (2016). Impact assessment of drilling waste generated in "Eden Field" offshore, Niger Delta, Nigeria. *SpringerLink*, 1-9.

<sup>8</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

físico-química del agua aumentando levemente los niveles de sustancias traza y sólidos suspendidos en la columna de agua, además se puede reducir la cantidad de oxígeno disponible a causa de la biodegradación por bacterias oxido reductoras debido al contenido orgánico de los cortes. Esta alteración local se ve mitigada por la corriente de las aguas oceánicas que permite una asimilación alta de los vertimientos ya que en corrientes elevadas se pueden encontrar diluciones de hasta 10000 veces a tan solo 100 m de la plataforma.

### **3.2.1 Alteración de la calidad del aire.**

Las emisiones atmosféricas generadas por las embarcaciones, los equipos y maquinaria de la plataforma producto del proceso de combustión interna de los motores incluyen contaminantes, gases de efecto invernadero y sustancias que afectan la capa de ozono y que tienen el potencial de afectar el medio ambiente. Dentro de los contaminantes el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contribuye de forma directa con el calentamiento global, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son responsables de la acidificación que puede ser dañina para el ambiente; las emisiones también incluyen contaminantes fotoquímicos, monóxido de carbono (CO), vapor de agua, clorofluorocarbonos (CFC), metano (CH<sub>4</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). Independientemente del tipo de plataforma utilizada se requiere de plantas generadoras de energía de alto poder que se convierten en la principal fuente de emisiones atmosféricas, no obstante, estas emisiones se dispersan con rapidez gracias a los vientos.

### **3.2.2 Alteración de los sedimentos del lecho marino**

El posicionamiento y desmantelamiento de la plataforma y la instalación y fijación del cabezal de pozo ocasiona una perturbación directa del lecho marino dejando

una cicatriz sobre el fondo con sedimentos perturbados, sin embargo dependiendo de la profundidad del agua esta marca desaparece gradualmente a medida que las corrientes en el área depositan nuevo sedimento sobre las zonas que hayan sido alteradas, mientras mayor sea la profundidad más tiempo tarda en desaparecer la cicatriz puesto que las corrientes y turbidez en estas áreas son bajas.

Los cortes de perforación también alteran los sedimentos pues al ser dispuestos en el mar generan cambios en las características fisicoquímicas de estos donde son depositados, pueden persistir por algunos años y cambiar su color temporalmente debido a la actividad de las bacterias óxido reductoras pudiendo llegar a observarse matices de blancos a rojizos en el sedimento oscuro. Adicionalmente al llevar a cabo actividades como la fijación de revestimiento se hace uso de la cementación para estabilizar los intervalos de perforación generando excesos de cemento que se depositan en el lecho marino alrededor del pozo, estos restos crean un nuevo escenario de impacto sobre el área previamente afectada por lodos y cortes aportando componentes contaminantes que alteran las propiedades del sedimento y cuyas características causan efectos a más largo plazo que los cortes y lodos de perforación.

### **3.2.3 Alteración de los niveles de presión sonora atmosférica**

El mar es un entorno naturalmente ruidoso y el ruido ambiental tiende a aumentar con el incremento de la velocidad del viento, la intensidad de la lluvia y la altura de las olas. Además de los elementos mencionados la presencia de embarcaciones de todo tipo es un factor que aumenta la presión sonora en el entorno marino e incluso en muchas áreas contribuye mayoritariamente al ruido ambiental.

El impacto por las operaciones de perforación costa afuera se da por la constante operación de motores y el funcionamiento de maquinaria empleada durante todo el proceso con frecuencias de ruido que oscilan entre los 50 y los 500 Hz. Las

frecuencias y niveles de ruido de las embarcaciones están relacionados con el tamaño, diseño y velocidad de las mismas, por ejemplo, se estima que las plataformas de perforación apoyadas sobre el fondo marino generan ruido de baja intensidad con rangos de frecuencia entre 4 y 38 Hz y niveles de ruido entre 109 y 127 dB y se identifica a los barcos de posicionamiento dinámico como los elementos que producen mayor ruido en las actividades de exploración costa afuera. No obstante, es un efecto cuya permanencia en el área se encuentra directamente relacionada con la ejecución del proyecto, lo que determina que una vez finalizadas las actividades, el impacto desaparecerá sin generar efectos secundarios o remanentes.

#### **3.2.4 Alteración e interferencia de ecosistemas de fondos blandos**

Diversas actividades de las operaciones costa afuera como el posicionamiento de la plataforma, perforación por la acción del taladro, instalación del revestimiento, taponamiento, abandono final y retiro de la embarcación suponen la intervención y ocupación del fondo marino, su perturbación y la de las comunidades asociadas ya que se alteran las capas más superficiales del sedimento donde viven la mayoría de organismos bentónicos y se ejerce un efecto de enterramiento de las comunidades adyacentes al pozo.

La generación y disposición de cortes recubiertos con fluidos de perforación podría ocasionar perturbaciones físicas como la reducción de oxígeno disponible, cambio en la composición química puntual del agua, incremento de la turbidez y efectos directos de fuga y evasión o indirectos asociados a los contaminantes presentes en estos compuestos que se pueden biomagnificar y bioacumular en la cadena trófica produciendo debilitamiento o muerte a las presas de estos organismos u otras especies en niveles más bajos de la cadena trófica. El tiempo de restauración depende de las características del fondo y materiales taladrados, la profundidad del

área de perforación y la velocidad de las corrientes, pero se encuentra que la recuperación de las comunidades bénticas comienza al poco tiempo de completarse la perforación y al cabo de un año está bien avanzada, esto ocurre con el reclutamiento de nuevas colonias y la migración desde sedimentos adyacentes no perturbados.

Cabe mencionar que la posibilidad de afectación de los organismos bentónicos por efecto de la descarga superficial de aguas residuales domésticas y residuos orgánicos es aún baja, teniendo en cuenta que este tipo de residuos terminarían siendo asimilados como nutrientes tanto por los organismos planctónicos, como por los bentónicos, esto último en el evento que lleguen al fondo.

### **3.2.5 Alteración e interferencia de hábitats de especies ícticas**

La perforación exploratoria y actividades conexas generarán el incremento de la presión sonora dentro del mar por los ruidos subacuáticos causados por motores, hélices y turbinas de las embarcaciones y por la actividad de perforación, lo que puede llegar a perturbar el hábitat de las especies ícticas adyacentes a la plataforma y afectar la capacidad para obtener información sobre el ambiente y la comunicación de estas especies. Las estructuras generan sonidos con un nivel promedio de 85 a 127 dB con referencia a 1  $\mu$ Pa-m que son equiparables o inferiores al ruido ambiental, sin embargo, valores intensos y vibraciones generados por la plataforma pueden producir diferentes efectos en los peces como el atontamiento y alejamiento, lesiones internas, daño en huevos y larvas, daños morfológicos en la vejiga natatoria, que desempeña un rol importante en la detección y producción acústica en algunos peces y hasta la muerte.

La generación y disposición de los cortes de perforación también causan un efecto sobre los peces aumentando la turbidez del agua alrededor del pozo lo que podría ocasionar una alteración o interferencia temporal de su hábitat, especialmente en

peces demersales (peces que viven en o cerca del fondo); eventualmente los sedimentos en la columna de agua podrían obstruir los conductos u órganos de respiración en organismos de pequeño tamaño como zooplancton y peces pelágicos (peces que no dependen del fondo). No obstante, estas alteraciones tendrían un efecto fugaz y se considera que el medio retorna a condiciones similares a corto plazo y presenta recuperación rápida.

La presencia de la unidad de perforación genera un fenómeno conocido como tigmotactismo y es considerado un efecto positivo pues se crea un hábitat temporal para algunas especies ícticas que se concentran a la sombra de esta estructura buscando refugio y alimento. Los peces pueden ser temporalmente atraídos a la plataforma debido a las disposiciones de naturaleza orgánica como los residuos de alimentos orgánicos de cocina y el agua residual doméstica, la luz y el potencial efecto de arrecife artificial que puede generar la plataforma. El aumento en el aporte de materia orgánica implica el incremento en la oferta alimenticia para algunas especies ícticas generando cambios en el comportamiento y atrayendo a peces mayores.

### **3.2.6 Alteración e interferencia de hábitats de comunidades planctónicas**

La turbidez resultante de todas las actividades conexas a la perforación costa afuera puede disminuir la cantidad de luz disponible en la columna de agua reduciendo la eficiencia de fotosíntesis en organismos plantónicos dependientes de la luz y por consiguiente a los que se alimentan de estos. Sin embargo, el efecto es temporal y la disponibilidad de luz mejorará una vez las actividades hayan cesado, además la variabilidad o renovación diaria de este tipo de poblaciones es alta, al igual que la capacidad de asimilación y dispersión del medio marino.

La disposición de cortes también aumenta la turbidez del agua ocasionando interferencia del hábitat de las comunidades planctónicas sobre todo porque éstas

no pueden desplazarse libremente a fin de evitar esta interacción. Los vertimientos de aguas residuales domésticas y grises, así como la disposición de residuos sólidos orgánicos provocan cambios en la biomasa de las comunidades de fitoplancton y bacterioplancton por el aumento de las concentraciones de nutrientes debido al aporte de materia orgánica; por otra parte el vertimiento de aguas industriales podría generar variaciones en los parámetros fisicoquímicos relacionados con la concentración de metales propios de estos vertidos, potencialmente tóxicos para los organismos marinos quienes lo asimilarían por procesos de bioacumulación y biomagnificación.

### **3.2.7 Alteración e interferencia de hábitats de tortugas marinas**

El ruido generado en las operaciones de alta mar es el factor que generalmente causa impacto a las tortugas marinas, pero no en gran proporción ya que son poco sensibles porque carecen del oído medio y escuchan en rangos de frecuencia baja de 100 a 500 Hz. El incremento en la presión sonora dentro del mar ahuyenta a las tortugas marinas, por ello el efecto más probable es que eviten temporalmente el área donde se encuentre la fuente sonora. Sin embargo, se ha identificado que la luz presente en los buques de perforación y embarcaciones de apoyo podría generar patrones en sus rutas de migración, por tal motivo la presencia de las embarcaciones sería considerada como información errónea para algunas de estas especies.

### **3.2.8 Alteración e interferencia de hábitats de mamíferos marinos**

Los ruidos subacuáticos, especialmente cambios repentinos en frecuencia o intensidad pueden ocasionar que los mamíferos marinos se alejen de un área. Las interacciones potenciales pueden incluir la acción elusiva de los individuos o la atracción de estos poniéndolos en riesgo de lesión o de muerte debido a las

colisiones y la interferencia de comunicación entre ellos. La respuesta al ruido entre especies puede manifestarse en el cambio en la dirección y velocidad de natación, ritmo respiratorio y vocalización, también puede interferir con la ecolocalización para la ubicación de alimento, interacciones sociales, orientación, detección de sonidos de cortejo o llamados de agrupamiento, navegación y la comunicación con sus crías.

El desplazamiento de las embarcaciones de apoyo genera sonidos con un rango de frecuencia entre 0,02 y 1 kHz y con un nivel promedio en la fuente de 160 a 180 dB re 1  $\mu$ Pa-m, lo que en primera instancia ahuyenta a los mamíferos y se considera no genera efectos letales o sub-letales a los organismos. Los niveles de intensidad acústica que pueden producir daños fisiológicos irreversibles en los cetáceos son de 180 dB como nivel de intensidad sonora límite, sin embargo, dado que las ondas sonoras se desplazan en zonas abiertas sin restricciones la dispersión del ruido alcanza rápidamente niveles similares a los generados por fuentes naturales como el viento, las corrientes marinas, olas, burbujas de agua y turbulencias.

### **3.2.9 Alteración por introducción de especies exóticas**

Con la movilización de la unidad de perforación o embarcaciones de apoyo se trasladan especies desde el área de origen hasta el área de destino sin mayores complicaciones, siendo este factor una de las cuatro mayores amenazas a los océanos según la Organización Marítima Internacional (OMI). Además, las aguas de lastre usadas para mantener la estabilidad de las embarcaciones también traen consigo la transferencia marina de organismos, estos se denominan especies exóticas, algunas de estas son consideradas especies invasoras pues en el área de destino se convierten en una amenaza para la biodiversidad y la conservación debido a que sus características les confieren la capacidad de colonizar, establecerse y causar daños al ambiente.

### 3.2.10 Alteración e interferencia de hábitats de aves marinas

Las aves relacionadas con el medio marino son predadores importantes del zooplancton, bentos y del pescado. Los ambientes marinos en alta mar pueden ser áreas de cría importantes para varias especies de aves y en muchas el grado de variabilidad natural espacial y temporal es en gran parte desconocido, por lo que se requieren muchos años de análisis antes de que un efecto sea detectable. Los estudios de aves marinas se complican aún más por el hecho de que son migratorias y pueden tener más de una interacción perjudicial durante todo el año.<sup>9</sup> Las plataformas de perforación concentran tanto las aves marinas como a sus presas en su entorno inmediato. La disponibilidad de refugio en el mar, el aumento de alimentos, la iluminación nocturna, el efecto de arrecife artificial y la descarga de desechos humanos que fertiliza el hábitat artificial pueden ser las razones más importantes por las que las aves persisten en la plataforma de petróleo costa afuera.<sup>10</sup>

Por su parte, se calcula que de 500 a 1000 millones de aves migran cada año desde Norteamérica hacia Suramérica y que de éstas 62 millones mueren por el cansancio y la falta de alimentación durante los desplazamientos migratorios. Por lo cual, la presencia de las embarcaciones o plataformas marinas permite a las aves establecer lugares de percha y zonas de alimentación. No obstante, la presencia de luces, especialmente en condiciones de niebla y el vuelo alrededor de las instalaciones les consumiría energía y podría retrasar su forraje o migración.

---

<sup>9</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

<sup>10</sup> WIESE, F., MONTEVECCHI, W., DAVOREN, G., HUETMANN, F., A., D., & J., L. (2001). Seabirds at Risk around Offshore Oil Platforms in the North-west Atlantic. *Marine Pollution*, 42, 1-6.

## **4 PERFORACIÓN COSTA AFUERA EN OTROS PAÍSES**

Con el fin de desarrollar el objetivo general del que trata este libro se hace necesario considerar los impactos ambientales de las operaciones de perforación costa afuera a nivel mundial, lo cual se analizará a lo largo de este capítulo, para así conocer el panorama y tener una base de comparación con nuestro país.

En la búsqueda de antecedentes para entender este tipo de operaciones se encontró que el primer pozo perforado con la utilización de muelles en zona marina fue en aguas del Océano Pacífico en las costas de Summerland, California en 1890; sin embargo, algunos autores consideran que su inicio fue en 1891 en Grand Lake St. Marys, Ohio con la perforación sobre un lago artificial. Existe un registro posterior en 1911 en el Lago Caddo, Louisiana con la perforación del pozo Ferry Lake N°1 utilizando una flota sin el uso de muelles, pero el arranque de la industria de la explotación de campos costa afuera es comúnmente considerada en 1947 cuando Kerr-McGee terminó satisfactoriamente un pozo con un tirante de agua de 4.6 metros en Louisiana.

El impacto de las operaciones de perforación costa afuera en el ambiente marino varía desde las perturbaciones de los mamíferos marinos por el ruido generado en las actividades de exploración hasta los efectos químicos, físicos y toxicológicos de los fluidos residuales, que pueden causar contaminación ambiental y la degradación del ecosistema.

### **4.1 CASOS DE ESTUDIO**

Para desarrollar el capítulo se decidió escoger artículos publicados que contuvieran casos de estudio soportados por pruebas de laboratorio o que abarcaran un análisis

detallado de los impactos por las perforaciones en alta mar, estos casos se expondrán a continuación.

#### 4.1.1 Disposición de cortes y lodos base agua

- **Caso de estudio N°1**

La base de datos referente a las comunidades bentónicas del Reino Unido contiene datos de 11.353 estaciones a lo largo de 351 estructuras que incluyen plataformas, pozos y manifolds. Estos datos se encontraban en cientos de informes separados en los archivos de empresas operadoras y consultores ambientales y en 2001 fueron seleccionados 19, digitalizados, estandarizados y actualizados periódicamente. Todo esto con el fin de medir la escala y la persistencia de los impactos ecológicos de los cortes de perforación en el sector británico del Mar del Norte. Los datos incluyen información sobre la historia de la perforación, diversidad y composición de especies macrobentónicas, granulometría de sedimentos, contenido de hidrocarburos y concentraciones de metales pesados.

Tabla 5. Encuestas seleccionadas y resumen de las variables ambientales que controlan la composición de la comunidad bentónica del Mar del Norte

<b>Estructura</b>	<b>Prof. del agua (m)</b>	<b>Año</b>	<b>Variables ambientales clave</b>	<b>Especies indicadoras</b>	<b>Huella máxima (m)</b>
Manifold Strathspey	130	1991 1994	Contenido de aceite de base, índice de carbono	NA	NA

Estructura	Prof. del agua (m)	Año	Variables ambientales clave	Especies indicadoras	Huella máxima (m)
Pozo 44_12	20	1988 1989	Hidrocarburos poliaromáticos de 4 anillos, Bario biodisponible	Capitella spp., Ophryotrocha spp, Anaitides maculata, Nereimyra punctata	200
Maureen A	98	1979 1981 1988	Tamaño de grano, compuestos orgánicos, fracción limo / arcilla, alcanos normales, bario biodisponible	Pholoe inornata	750
Murchison	156	1978 1985 1987 1990 1993 2006	Alcanos normales	Eteone longa, Typosyllis hyalina, Ophiodromus flexuosus, Ophryotrocha spp	1200
Alba	140	1991 2000 2005	Alcanos normales, plomo	Capitella capitata, Ophryothrocha spp.	500
Beatrice A	46	1981 1983 1985 1987	Orgánicos, fracción limo/arcilla, tamaño de grano, contenido de aceite	Cirratulus spp., Poecilochaetus serpens, Thelepus Cincinnatus	750

Estructura	Prof. del agua (m)	Año	Variables ambientales clave	Especies indicadoras	Huella máxima (m)
Beryl B	120	1983 1985 1988 1991	Orgánicos, fracción limo/arcilla, Zinc	Polydora spp., Pholoe inornata, Balanus Crenatus, Autolytinae spp.	1000
Brae A	116	1981 1983 1985 1989 2006	Tamaño de grano, Bario biodisponible	Praxillella affinis	1000
Brae B	116	1985 1989	Alcanos normales, Zinc	Parougia caeca, Glycera alba, Capitella spp.	750
North Alwyn	126	1984 1989 1992	Orgánicos, fracción limo/arcilla, contenido de aceite, bario biodisponible, cromo	Caulleriella alata, Apporhais spp, Lunatia montagui, Thyasira sarsi	800
Buchan A	118	1980 1982 1988	Orgánicos, fracción limo/arcilla, tamaño de grano, alcanos normales, contenido de aceite	NA	NA

<b>Estructura</b>	<b>Prof. del agua (m)</b>	<b>Año</b>	<b>Variables ambientales clave</b>	<b>Especies indicadoras</b>	<b>Huella máxima (m)</b>
Forties C	127	1975 1984	Orgánicos, contenido de aceite	Chaetozone spp., Eudorella truncatula, Chaetoderma nitidulum	500
Forties E	95	1983 1984 1988	Contenido de aceite, alcanos normales, Plomo, Bario total	Ophryotrocha spp., Capitella capitata, Glycera alba, Paramphinome jeffreysii	1200
Nelson	84	1991 1993 1995 1999	Hidrocarburos policromáticos de 4 anillos	Thyasira spp., Capitella capitata	500
Amethyst A1	29	1989 1992	Orgánicos	NA	NA
Amethyst B	29	1991 1992	Orgánicos, contenido de aceite	NA	NA
Amethyst C	25	1991 1992	Orgánicos, contenido de aceite	NA	NA
Audrey A	27	1986 1988	Fracción limo/arcilla, tamaño de grano, níquel	NA	NA

Estructura	Prof. del agua (m)	Año	Variables ambientales clave	Especies indicadoras	Huella máxima (m)
Caister	31	1991 1993	Hidrocarburos poliaromáticos de 6 anillos, mercurio	Pocas especies encontradas en las estaciones con altas concentraciones de mercurio	895

**Nota:** HENRY et al. (2017). Historic scale and persistence of drill cuttings impacts on North Sea benthos. *Marine Environmental Research*, 129, 1-10.

## Resultados

- Un total de 12 estructuras mostraron fuertes y significativas respuestas bentónicas a la contaminación establecida por los cortes de perforación. De estas, 10 tenían una huella ecológica máxima (distancia del pozo o plataforma sobre la cual se detectaron efectos sobre el bentos) limitada a menos de 1000 m de la estructura y en 11 de las 12 series de datos, la extensión de la huella ecológica fue máxima en el momento de la primera encuesta posterior a la perforación.
- Sólo dos conjuntos de datos mostraron impactos ecológicos en el bentos más allá de 1000 m: las plataformas Forties E y Murchison, donde la huella ecológica se extiende hasta los 1200 m.
- Solo 6 de los 19 sitios no mostraron impactos debido a los cortes en términos del tiempo de recuperación, es decir, el tiempo mínimo de persistencia fue cero en el pozo 44\_12 y las plataformas Amatista (A1, B, C), Buchan A y

Audrey y más del 50% de estos sitios mostraron efectos por los cortes que persisten durante al menos 6 a 8 años luego de la perforación.<sup>11</sup>

- **Caso de estudio N°2**

En un estudio de laboratorio en 1989 sobre la bioacumulación, la transferencia en la cadena alimenticia y los efectos biológicos del Bario y el Cromo de los lodos de perforación para la platija y la langosta, se expusieron estas especies durante 99 días en tanques mesocosmos a sedimentos contaminados con sólidos de un fluido de perforación base agua, algunos de los animales de prueba también fueron alimentados con gusanos poliquetos que habían sido contaminados por exposición a estos sólidos, las concentraciones de bario y cromo, los dos metales más abundantes en la mayoría de este tipo de fluidos se midieron en diferentes momentos durante la exposición, en la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos. Como consecuencia de esta investigación se encontró que era probable que gran parte del Bario bioacumulado por las langostas y las platijas estuviera presente como partículas de barita no asimiladas en el sistema digestivo, en el caso del cromo no se bioacumuló porque estaba en estado trivalente de baja solubilidad y no era muy biodisponible, además se presentó muy poca transferencia en la cadena alimenticia y no hubo biomagnificación del Bario y Cromo proveniente del lodo de perforación en los animales marinos.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> HENRY, L.-A., HARRIES, D., KINGSTON, P., & ROBERTS, J. M. (2017). Historic scale and persistence of drill cuttings impacts on North Sea benthos. *Marine Environmental Research*, 129, 1-10.

<sup>12</sup> Neff, J. (2005). Composition, environmental fates, and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment. 35-47.

Tabla 6. Consecuencia de la exposición de bario a platijas y langostas

		[Ba]
Exposición a sedimentos contaminados		
<b>Platija</b> 		[Acumulan pequeñas cantidades]
Exposición a sedimentos y alimento (gusanos poliquetos) contaminado		
<b>Platija</b> 		[Acumulan más Ba que las expuestas solo a sedimentos contaminados]

- **Caso de estudio N°3**

Efectos de la bioacumulación de metales de descargas de lodos base agua se estudiaron en el Canal de Santa Bárbara de California en 1989. Se seleccionaron tres especies para la prueba de contaminantes: una almeja, un poliqueto de alimentación de filtro y un poliqueto de alimentación de depósito. Entre los resultados obtenidos, se tiene:

- Las concentraciones de bario aumentaron significativamente entre el muestreo previo y posterior a la perforación en todas las estaciones de baja corriente a 1.500 m.

- Las concentraciones totales y biodisponibles de Bario disminuyeron bruscamente con la distancia desde el pozo.
- Cada especie se analizó para detectar concentraciones de Bario y se encontraron incrementos estadísticamente significativos en la almeja y en el poliqueto de alimentación de filtro.
- Más del 97% del Bario permaneció en gránulos e insoluble y el 3% restante no fue suficiente para ser tóxico para la almeja o el poliqueto.<sup>13</sup>

- **Caso de estudio N°4**

En 1993 se publicó un estudio en el Mar del Norte, donde la comunidad bentónica fue monitoreada por cambios dos meses y un año después de que la perforación con lodo base agua terminara. La profundidad del agua era de 45 m (148 ft).

Tabla 7. Resultados caso de estudio Mar del Norte

<b>Dos meses después de la perforación</b>	<b>Un año después de la perforación</b>
Cortes de perforación dentro de un radio de 25 m (82 ft)	Ningún rastro de cortes
No se detectó ningún cambio en la comunidad bentónica	

La ausencia de acumulaciones de cortes de las descargas por el ambiente de alta energía implicó que el bentos no se afectó significativamente, además los efectos

<sup>13</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

sobre las comunidades bentónicas son detectables cuando se produce sofocación.<sup>14</sup>

- **Caso de estudio N°5**

Tres sitios con décadas de historia de producción de petróleo y gas fueron elegidos por El Servicio de Manejo de Minerales (MMS) del Golfo de México para el estudio a largo plazo en 1996 por las descargas de lodos base agua. Las profundidades del tirante de agua van desde 29 m (95 ft) a 125 m (410 ft). Se midieron cinco distancias entre 30 m (98 ft) y 3.000 m (9842 ft) completando todos los estudios de 6 a 12 años después de que la actividad de perforación había cesado. El estudio arrojó lo siguiente:

- No se detectó bioacumulación de hidrocarburos o metales en ninguna de las especies ensayadas, sin embargo, la distribución general del tamaño del grano cerca de la plataforma cambió, causando afectación en la comunidad bentónica.
- La abundancia de nematodos y poliquetos alimentados con depósitos aumentó a 100 m de la plataforma indicando un enriquecimiento orgánico, mientras que el número de anfípodos disminuyó.
- Los hidrocarburos resultantes de las operaciones eran detectables a no más de 500 m de la plataforma, mientras que los gradientes de concentración de ciertos metales (Ba y/o Cd) eran aparentes a 3 km de dos de las tres plataformas y de 5 km para la otra.
- Años de degradación física y biológica redujeron la concentración inicial de hidrocarburos, especialmente en sitios menos profundos. Sin embargo, en lugares más profundos (> 80 m), la concentración de algunos metales (por

---

<sup>14</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

ejemplo, Cd y Hg) se mantuvo por varios años, incluso décadas después de que la perforación había cesado.<sup>15</sup>

- **Caso de estudio N°6**

Un estudio sobre la perturbación física de los cortes de perforación base agua en los ecosistemas bentónicos realizado en el 2006 buscó probar que el efecto marginal sobre el bentos de este tipo de fluidos no es causado solamente por la sedimentación (enterramiento, considerado el impacto principal de los cortes base agua), para ello se añadieron partículas de sedimentos naturales y cortes de perforación base agua a las comunidades bentónicas con espesores de capa de 3 a 24 mm en una configuración de mesocosmos y se estudiaron los cambios en la estructura de la comunidad bentónica y los flujos de oxígeno y nutrientes a través de la interface agua sedimento durante 6 meses.

Para llevar a cabo la prueba se recogieron 24 muestras de núcleos a 41 m de profundidad en el Oslofjord, al sur de Noruega y los cortes eran procedentes de una operación de perforación en el mar de Barents. Los sedimentos naturales de ensayo fueron recogidos hasta 20 cm de profundidad en el mismo lugar que las comunidades de ensayo y la información obtenida sobre los impactos de los cortes se aplicó principalmente a la etapa de la vida adulta.

**Resultados:**

- Se observó una reducción significativa del número de taxones, abundancia, biomasa y diversidad con el aumento del espesor de capa de los cortes de perforación base agua, que no se observó al aumentar el espesor del sedimento natural de ensayo.
- Los flujos de fosfato y silicato fueron principalmente negativos debido a que estos se dirigieron fuera del sedimento.

---

<sup>15</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

- Los organismos alimentados por depósitos superficiales son particularmente sensibles a la disposición de cortes, el *Prionospio cirrifera* fue el más afectado debido posiblemente a que ingieren partículas en la superficie del sedimento por lo que pueden estar más expuestos que otros grupos de alimentación. Además, parece que este grupo es sensible a la contaminación en general.
- La toxicidad aguda de los componentes del lodo añadidos es considerada insignificante debido a que los productos químicos agregados al lodo figuran en la lista PLONOR (sustancias utilizadas y descargadas en alta mar que se consideran poco o nada peligrosas para el medio ambiente) (OSPAR, 2004), de allí que se concluye que la toxicidad no es el factor principal de los efectos observados en la fauna.
- Los resultados sugieren que los cortes de perforación base agua afectan la fauna a través de mecanismos distintos a la sedimentación y que el agotamiento de oxígeno es considerado el factor principal de los efectos sobre el ecosistema.
- El factor más probable para explicar la mortalidad observada de los organismos fue la presencia de una fase orgánica en los cortes, iniciando una respuesta típica de eutrofización. La degradación de esta fase produjo tanto un aumento del consumo de oxígeno como una menor profundidad de penetración de este y se encuentra que existe relación entre la reducción de la profundidad de penetración de oxígeno con el número reducido de taxones, abundancia, biomasa y diversidad.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> TRANNUM, H. C., NILSON, H. C., SCHAANNING, M. T., & OXNEVAD, S. (2009). Effects of sedimentation from water-based dirll cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 383, 1-11.

- **Caso de estudio N°7**

Un artículo publicado en el 2016 expone los experimentos de laboratorio realizados en Langenuen, Noruega, donde se ejecutaron pruebas cortas (agudas) de 12 horas y a largo plazo (crónicas) de 14 días de forma intermitente y continua para examinar las respuestas biológicas de la esponja de agua profunda *Geodia Barretti* mediante la estabilidad de la membrana lisosomal (LMS) a un sedimento de referencia natural y a componentes de lodos base agua (barita y bentonita) a concentraciones que podrían esperarse dentro de 0.5 a 1 km del punto de descarga de los residuos de perforación. Se realiza el experimento con esponjas, ya que son organismos de alimentación de filtro, susceptibles al aumento de las concentraciones de sólidos totales suspendidos (TSS), que desempeñan un papel clave en los procesos de transferencia de energía y de nutrientes y proporcionan alimento y refugio para otros organismos. La diferencia en el experimento crónico continuo con el intermitente es la tasa a la que los organismos estuvieron expuestos a los tres diferentes sólidos suspendidos (barita, bentonita y sedimento de referencia), en el crónico continuo fueron tasas de 24 horas al día y en el crónico intermitente 12 horas al día, por 14 días para ambos.

Los resultados obtenidos de la investigación fueron los siguientes:

- La exposición aguda de las esponjas a bentonita suspendida y sedimento de referencia no causó alteración significativa a la estabilidad de la membrana lisosomal, lo que indica que no hay efectos adversos en la salud del organismo.
- Las concentraciones totales de Pb fueron significativamente más altas en las esponjas expuestas a 30 mg/L de barita durante 14 días que las expuestas sólo al agua de mar, sin embargo, las concentraciones fueron inferiores a las conocidas por causar efectos adversos en las esponjas.

- La exposición a corto y largo plazo a la barita a concentraciones y tiempo ecológicamente significativo reduce los niveles de estabilidad de la membrana lisosomal de la esponja *G. Barretti* hasta un 30% indicando el potencial daño ecológico.
- La barita se considera más dañina que la bentonita suspendida y los sedimentos de referencia.
- La toxicidad celular es mayor en exposiciones continuas que intermitentes por el tiempo de recuperación que tienen las esponjas cada 12 horas, sin embargo, en las prácticas de descarga de plataformas petrolíferas se liberan de forma continua pequeñas concentraciones de lodos base agua asociadas a los cortes de perforación y cantidades más grandes en forma intermitente durante las operaciones.
- Estos resultados demuestran que a pesar de que las exposiciones intermitentes resultan menos tóxicas que la exposición continua a la barita, 12 horas es un período inadecuado para que esta esponja se recupere completamente.
- Las concentraciones bajas de exposición a la barita no pueden causar estrés a nivel celular en las esponjas para los escenarios de exposición probados.<sup>17</sup>

- **Casos de estudio N°8**

La bioturbación, actividad de reestructuración de sedimentos fue evaluada en dos organismos bentónicos bioturbadores con el fin de estimar los efectos de los cortes de perforación base agua en esta actividad. Los organismos sometidos a prueba fueron el bivalvo *Abra segmentum* común en el Mediterráneo y en el Mar Caspio y la estrella *Amphiura filiformis* común en las comunidades de fondos blandos del Atlántico Nororiental y Mediterráneo, se utilizaron partículas de sedimento teñidas

---

<sup>17</sup> EDGE, K. J., JOHNSTON, E. L., DAFFORN, K. A., & SIMPSON, S. L. (2016). Sub-lethal effects of water-based drilling muds on the deep-water sponge *Geodia barretti*. *Environmental Pollution*, 1-10.

con fluorescencia (luminóforos) y la formación de imágenes de perfil empleando luz ultravioleta, adicionalmente se usaron doce acuarios rellenos con 15 cm de sedimento libre de microorganismos.

Para la prueba luego de un día de la adición de los organismos de ensayo, se añadieron cortes de perforación o sedimento natural con un espesor de 2,5 mm, a los cuatro días de la adición de los materiales de ensayo se añadieron 3 g de luminóforos y a los dos días los organismos fueron alimentados con material orgánico. Finalmente se hizo la captura de imágenes a las 0, 3, 6, 12, 24 y 48 horas posteriores a la adición de luminóforos y se repitió a las 96 horas de añadido el alimento.

Se utilizaron dos medidas para estimar la actividad de mezcla, la profundidad máxima de penetración del luminóforo (MPD) y la suma de todos los luminóforos transportados por debajo de la interfaz sedimento-agua para reflejar la disponibilidad para transportar partículas desde la superficie del sedimento.

El artículo se publicó en el 2017 y se encuentra que ambas especies de ensayo mostraron una reducción de la actividad de reestructuración de sedimentos en los cortes de perforación en comparación con los tratamientos de sedimentos naturales.

Los luminóforos fueron transportados a la capa más profunda después de poco tiempo, especialmente en el tratamiento de sedimento natural. Ambas especies de ensayo contribuyen en una gran proporción a la tasa de reestructuración de sedimentos de toda la comunidad, de allí que la bioturbación se vea afectada. Tal afectación reduce el transporte de los cortes de perforación en el sedimento (hacia abajo) y crea una fracción más grande que permanecerá en la superficie, donde se presentarán como factores de estrés crónicos. Además, el transporte de oxígeno y nutrientes en el sedimento disminuye su velocidad, lo que junto con los compuestos

degradables en los cortes de perforación aumenta la anoxia de los sedimentos y restringe la distribución vertical de los organismos bentónicos.<sup>18</sup>

- **Caso de estudio N°9**

El estudio consistió en una investigación previa a la perforación y dos posteriores (una inmediatamente después de la perforación y otra un año después) en un área de exploración Exxon USA en el Baltimore Canyon del Atlántico Medio. Las prospecciones se realizaron durante los veranos de 1978, 1979 y 1980, con un tirante de agua de 120 metros (394 ft). Se utilizó un lodo de lignosulfonato de cromo-arcilla en el pozo.

Tabla 8. Resultado caso de estudio Exxon USA

Inmediatamente después de la perforación	Un año después de la perforación
En gusanos poliquetos y estrellas de mar se aumentó la concentración de Bario.	La concentración de Bario volvió a los valores normales.
Los niveles de abundancia de la macrofauna fueron menores debido a efectos de enterramiento y cambios en la textura de los sedimentos causados por los cortes	Menos evidente la disminución de la macrofauna, con excepción de la estrella de mar madriguera que permaneció disminuida hasta 90 metros del sitio del pozo
La abundancia de peces demersales y cangrejos se incrementó en el área del pozo	
<b>Alteraciones físicas del sedimento superficial</b>	
Se evidenciaron en microrelief (arcilla semi-consolidada presentes en pequeños montículos de menos de 10 cm de altura) y en el aumento del contenido de arcilla de	

<sup>18</sup> TRANNUM, H. C. (2017). Drilling discharges reduce sediment reworking of tow benthic species. *Marine Pollution Bulletin*, 1-4.

los sedimentos a una distancia de 800 m (2625 ft) al suroeste (corriente abajo) del sitio del pozo. Se prevé que estas alteraciones durarán varios años debido al ambiente bentónico de baja energía de este sitio de aguas profundas.

Este sitio en particular tiene características que lo hacen vulnerable a los impactos de descarga de perforación, ya que la profundidad del agua de 120 m es demasiado profunda para que las olas dispersen los cortes de perforación y sólidos del lodo, pero no tan profundas para que los sólidos se depositen ampliamente en una gran área y se presenten en concentraciones insignificantes en el sedimento. Incluso bajo estas condiciones, los impactos biológicos medibles después de la perforación eran relativamente menores y casi habían desaparecido un año después.<sup>19</sup>

- **Caso de estudio N°10**

En un análisis realizado a una plataforma de gas en el Mar Adriático 8 años luego de la perforación en 1998, se midieron las concentraciones de varios metales en el tejido de dos especies de moluscos bivalvos: *Mytilus galloprovincialis* and *Corbula gibba*, teniendo en cuenta la influencia de las patas de la plataforma y los sedimentos adyacentes a esta. En la Tabla 9 se muestra la distribución de algunos metales y su posible origen; como resultado se encontró que los bivalvos cercanos a las patas de la plataforma y a los sedimentos contenían mayores concentraciones de plomo, cobre y zinc que los alejados de esta, lo que sugiere como fuente de bioacumulación de metales a la plataforma, también se identificó a los ánodos de sacrificio que protegen las estructuras metálicas enterradas o sumergidas de la plataforma contra la corrosión, como la fuente principal de exceso de metales en los tejidos de los bivalvos. Por lo tanto, los estudios de laboratorio y de campo son

---

<sup>19</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

consistentes en demostrar que existe una biodisponibilidad muy limitada de metales de los lodos y los cortes para los animales marinos.<sup>20</sup>

Tabla 9. Origen de algunos metales en plataformas del Mar Adriático

	ORIGEN	
METAL	Lodo de perforación y cortes	Ánodos de sacrificio de la estructura (Plataforma)
Pb	X	
Cr	X	
Cu	X	
Zn		X

#### 4.1.2 Disposición de cortes y lodos base aceite, agua y sintética

- **Caso de estudio N°11**

En una importante serie de estudios realizados desde 1990 hasta 1996 sobre las especies macrozoobentónicas expuestas a descargas de cortes y lodos base de aceite, base de agua y base sintética (éster) en el Mar del Norte se encontró:

- Efectos significativos sobre la cantidad de especies de macrobentos hasta 500 m o incluso 1000 m desde la plataforma de perforación.
- Se mostró una reducción de macrobentos cerca de los sitios de descarga de lodos base aceite, muy similar a la presentada en los lodos base sintética

<sup>20</sup> Neff, J. (2005). Composition, environmental fates, and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment. 35-47.

para la mayoría de las especies indicadoras, excepto para el poliqueto oportunista *Capitella Capitata*, el cual mostró una mayor abundancia.

- Se cree que el estrés se relaciona con el enriquecimiento orgánico por una reducción en el oxígeno disponible en el sedimento debido a cambios en las propiedades fisicoquímicas de este.<sup>21</sup>

- **Caso de estudio N°12**

En 1999 se examinaron los efectos crónicos letales y sub-letales de la barita, la bentonita y los fluidos de perforación base agua y aceite utilizados en las vieiras *Placopecten magellanicus* tomadas de Georges Bank. Los fluidos y sedimentos que se examinaron provenían de Sable Island Bank frente a Nueva Escocia y se simulaba la descarga de desechos de perforación durante 12 h cada día por el tiempo del experimento. Esta exposición intermitente fue debido a que las descargas de residuos de las plataformas de perforación no son continuas y las concentraciones en suspensión pueden variar en función de los ciclos de las mareas.

La toxicidad crónica de los residuos de perforación estudiados en orden de aumento fue:

Fluidos base agua < bentonita < barita < Aceite mineral de baja toxicidad

Se esperaba que la bentonita y barita, sustancias biológicamente inertes, no tuvieran toxicidad química ni alteración física en las vieiras. Sin embargo, se observaron elevadas mortalidades y efectos de crecimiento negativos (reabsorción del tejido) para 10 mg/l de bentonita en las vieiras, atribuido a la influencia negativa de las partículas finas en los mecanismos de alimentación, lo cual genera una

---

<sup>21</sup> HOLDWAY, D. A. (2002). The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1-19.

respuesta de compensación fisiológica por parte de los organismos que incluyen una reducción en la eficiencia de la captura de partículas de tamaño de arcilla, selección de partículas antes de la ingestión y una reducción en las pérdidas de energía respiratoria después de una exposición prolongada, sin embargo, estas compensaciones no pudieron mantener un balance energético neto positivo a la concentración de 10 mg/l de bentonita.

Respecto a los lodos base agua se detectó un aumento de las pérdidas de energía respiratoria durante la exposición crónica, pero en sí, las respuestas fisiológicas de las vieiras a los lodos base agua no resultaron en daño físico al organismo ya que la conducta de alimentación vuelve a la normalidad después de la eliminación de estos de la dieta.

Finalmente, se encontró que todos los desechos causan reducción en el crecimiento de tejidos somáticos y/o reproductivos en diferentes concentraciones, mayores de 10 mg/l para el lodo base agua, 2 mg/l para bentonita y menos de 0,5 mg/l para la barita y el lodo base aceite. La exposición a lodos base aceite causó altas mortalidades, el cese de la alimentación y la incapacidad para recuperar la actividad de alimentación durante los períodos en los que los lodos base aceite no estaban presentes.<sup>22</sup>

#### **4.1.3 Disposición de cortes y lodos base aceite**

- **Caso de estudio N°13**

Los estudios de campo realizados en el este de Canadá sobre los moluscos recolectados en Cohasset-Panuke (primer proyecto comercial costa afuera de Canadá en 1992), donde se descargaron aceites minerales de baja toxicidad, presentaron contaminación y absorción de hidrocarburos. Sin embargo, una vez que

---

<sup>22</sup> CRANFORD, P., GORDON, D., ARMSWORTHY, S., & TREMBLAY, G. (1999). Chronic toxicity and physical disturbance effects of water- and oil-based drilling fluids and some major constituents on adult sea scallops (*Placopecten magellanicus*). *Marine Environmental Research*, 48, 1-32.

la descarga se interrumpió los niveles volvieron a la normalidad. Ni los mejillones ni las vieiras recolectadas como parte del monitoreo de los efectos ambientales mostraron algún indicio de contaminación.<sup>23</sup>

- **Caso de estudio N°14**

En 1991 las vieiras del Georges Bank *Placopecten magellanicus* fueron expuestas durante dos meses a cortes de lodos de perforación base aceite mineral sin diluir provenientes de dos plataformas de perforación, una en Nueva Escocia y otra en Grand Bank. La mortalidad crónica aumentó de 12,5% en controles a 32% en vieiras expuestas a los cortes de la plataforma ubicada en Nueva Escocia y 37,5% en vieiras expuestas a cortes del Grand Bank. En animales sobrevivientes se observó el cese del crecimiento de tejido reproductor y somático y el fracaso de la acumulación de reserva de lípidos.<sup>24</sup>

- **Caso de estudio N°15**

Se evaluó en laboratorio la toxicidad de los lodos de perforación base aceite recolectados de una plataforma en el sur de California en abalones rojos *H. rufescens* y corales *Paracyathus stearnsii*. Esta investigación de 1997 indicó que incluso los lodos de perforación base aceite de baja toxicidad contribuyen a impactos significativos en procesos importantes como el asentamiento de larvas en el caso del abalón, la mortalidad de organismos adultos sésiles típicos de las comunidades de fondo duro y la pérdida de tejido en algunos individuos. Las

---

<sup>23</sup> CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Technical Report.

<sup>24</sup> HOLDWAY, D. A. (2002). The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1-19.

concentraciones del ensayo eran ambientalmente realistas (rango 0,002-200 mg/l) por lo que representa la misma magnitud que los que podrían ocurrir en el campo.<sup>25</sup>

- **Caso de estudio N°16**

El análisis de la riqueza de especies y los datos de abundancia indicaron en 1999 que en la plataforma North Rankin A en el Noroeste de Australia los efectos agudos estaban contenidos a menos de 400 m desde el punto de descarga de cortes y lodos base aceite mineral de baja toxicidad tan pronto terminó la perforación.

Este mismo año en otro sitio de perforación del Noroeste de Australia (Wanaea- 3/6) donde los lodos base aceite mineral se descargaron entre 70 y 80 m de agua, se encontró que los efectos biológicos se limitaron a 100 m, las concentraciones de fondo de hidrocarburos y metales traza ocurrieron dentro de los 1.200 m de la plataforma, los niveles elevados de bario se podían medir hasta 200 m de la cabeza del pozo en todas las direcciones mientras que el plomo se elevó hasta 100 m en la dirección de la corriente y la riqueza de especies fue menor hasta 5 m desde la cabeza del pozo. Pero lo más representativo fue que el estudio se realizó tres años después de que la perforación había cesado.<sup>26</sup>

- **Caso de estudio N°17**

Un experimento de bioacumulación fue realizado en el 2002 en laboratorio con cortes de fluidos de perforación base aceite de dos plataformas en el Mar del Norte y la única evidencia de una acumulación estadísticamente significativa de metales para los animales marinos fue para el plomo. La concentración de plomo fue alta en

---

<sup>25</sup> HOLDWAY, D. A. (2002). The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1-19

<sup>26</sup> HOLDWAY, D. A. (2002). The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1-19

los cortes y su concentración aumentó en gusanos, mejillones y rodaballos durante la exposición. Entre los resultados de este estudio se encuentra que los metales asociados con los ingredientes y los cortes del lodo de perforación tienen una biodisponibilidad baja para los animales marinos y el plomo parece ser el único metal que es biodisponible en algunas columnas de cortes.<sup>27</sup>

- **Caso de estudio N°18**

La utilización de foraminíferos bentónicos como bioindicadores de la contaminación debido a la eliminación de lodos base aceite es un método para monitorear el impacto de los cortes de perforación en el ecosistema bentónico en ambientes marinos.

Las faunas foraminíferas tienen una respuesta clara a las condiciones de estrés provocadas por la introducción de hidrocarburos en el ambiente bentónico y por lo tanto son aplicadas con éxito como bioindicadores para estimar el impacto de la descarga de los cortes, además se encuentran entre los pocos organismos bentónicos que dejan un excelente registro fósil, que es útil cuando no se ha realizado algún estudio de referencia antes del inicio de las actividades de perforación y son usados para conocer la fauna natural y determinar qué especies han desaparecido y que otras han invadido la zona desde el inicio de las operaciones.

Se estudiaron las faunas foraminíferas bentónicas de cinco estaciones alrededor de un sitio de eliminación de cortes a unos 670 m de profundidad de la costa Angola en el 2006, donde las actividades de perforación comenzaron un año y medio antes del muestreo. Se recolectaron muestras de las cinco estaciones alrededor de la plataforma petrolera Perpetua-2 y los porcentajes de hidrocarburos y las concentraciones de Bario se midieron para describir la dispersión de los lodos,

---

<sup>27</sup> Neff, J. (2005). Composition, environmental fates, and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment. 35-47.

además se calculó la densidad de las faunas totales y de las especies individuales, la riqueza de especies (número de especies) y varios índices de diversidad para todas las estaciones. Encontrando que la concentración total de hidrocarburos es máxima en la estación más cercana al sitio de eliminación y disminuye rápidamente al aumentar la distancia desde el pozo, además las concentraciones de bario relativamente altas sugieren el transporte a larga distancia de este material por las corrientes de fondo, en la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las estaciones y aunque no se han muestreado áreas a menos de 300 m del sitio de disposición se prevé que las condiciones más estresadas estén presentes en los puntos más cercanos al sitio de eliminación y más allá de un kilómetro no se evidencia efecto de los lodos de perforación.<sup>28</sup>

Tabla 10. Impactos de los foraminíferos bentónicos evaluados en 5 estaciones alrededor de la plataforma Perpetua 2, Angola

Estación S31 [300 m del sitio de eliminación]	Estación S32 [500 m del sitio de eliminación]	Estación S33 [1 km del sitio de eliminación]	Estación S34 [1.8 km del sitio de eliminación]	Estación S35 [2 km del sitio de eliminación]
Está claramente impactada por las actividades de exploración de petróleo.	El impacto ambiental es débil, pero aún perceptible.	Las estaciones ya no están afectadas por la disposición de lodos de perforación		
Taxones como <i>U. peregrina</i> y	La densidad faunística	Especies con baja resistencia a fenómenos de eutrofización, como		<i>U. peregrina</i> y <i>C. auriculus</i> son

<sup>28</sup> JORISSEN, F. B. (2009). Impact of oil based drill mud disposal on benthic foraminiferal assemblages on the continental margin off Angola. *Dep-Sea Research II*, 1-22.

Estación S31 [300 m del sitio de eliminación]	Estación S32 [500 m del sitio de eliminación]	Estación S33 [1 km del sitio de eliminación]	Estación S34 [1.8 km del sitio de eliminación]	Estación S35 [2 km del sitio de eliminación]
<i>C. auriculus</i> están fuertemente disminuidos.	muestra un valor ligeramente mayor, pero <i>U. peregrina</i> está casi ausente.	<i>U. peregrina</i> y <i>C. auriculus</i> , están presentes en grandes cantidades.		bastante comunes, lo que indica que las aguas de fondo estaban bien oxigenadas.
El ambiente bentónico experimenta condiciones eutrofizadas.	---	---	---	El contenido de hidrocarburos y de Bario es bajo.

#### 4.1.4 Etapa de perforación

- **Caso de estudio N°19**

Se realizó un estudio en el Mar Jónico Norte en el 2005 para indicar el cambio en la diversidad funcional de los nematodos por la presencia de cuatro plataformas costa afuera de gas instaladas desde la década de los 80. Dos de las cuatro plataformas seleccionadas tenían una estructura de ocho patas y se encontraban a unos 7 km de la costa, en fondos de lodo a unos 90 m de profundidad, las otras dos plataformas tenían una estructura más pequeña siendo una un monopod (solo una pata) y la otra una plataforma de cuatro patas a 2 km de la costa en un fondo arenoso-detrítico a aproximadamente 30 m de profundidad. Para cada una de las cuatro plataformas se seleccionaron cuatro puntos a 300, 1000 y 3000 m desde la plataforma para

recoger tres muestras de sedimento con su respectiva contra muestra. Fueron utilizados nematodos porque tienen un enorme potencial en la detección de alteraciones ambientales, con los que se encontraron:

- Las plataformas costa afuera alteraron significativamente la estructura, heterogeneidad espacial, diversidad funcional y los rasgos de la historia de vida de los grupos de nematodos.
- Estos efectos fueron más evidentes para las plataformas ubicadas a 90 m, lo cual se supone es por el tamaño de las plataformas, ya que ocupan una superficie más grande del fondo marino.
- Para todas las plataformas investigadas se apreciaron diferencias evidentes hasta 1000 m de la estructura.
- La heterogeneidad (en términos de dispersión variada) de los grupos de nematodos generalmente disminuyó acercándose a las plataformas, independientemente de las profundidades de estas.

Con esta investigación se refuerza la idea de que una disminución de la heterogeneidad espacial en los organismos bentónicos es una respuesta general de la biota marina a los impactos antropogénicos investigada por otros autores.<sup>29</sup>

- **Caso de estudio N°20**

Este artículo describe los efectos de la perturbación por la perforación en el fondo marino del talud continental superior de la Cuenca de Campos, Brasil. Se realizaron muestreos de campo en los pozos cercanos operados por la empresa Petrobras para comparar las propiedades sedimentarias del lecho marino, incluyendo la distribución granulométrica, concentración de carbono orgánico total (TOC) y composición mineral de arcilla antes de perforar con muestras obtenidas 3 y 22 meses después de la perforación en el 2006. Se realizaron muestreos hasta una

---

<sup>29</sup> FRASCHETTI, S., GUARNIERI, G., GAMBI, C., BEVILACQUA, S., TERLIZZI, A., & DANOVARO, R. (2016). Impact of offshore gas platforms on the structural and functional biodiversity of nematodes. *Marine Environmental Research*, 115, 1-9.

distancia de 500 metros desde el pozo y solo 6 muestras a 2500 metros utilizadas como referencia. Pero los resultados no muestran una variación sedimentológica significativa en el área influenciada por la actividad de perforación. Los cambios sedimentológicos observados incluyen un ajuste del tamaño de los granos, aumento del carbono orgánico total, aumento de la gibbsita, illita y esmectita y una disminución de la caolinita después de la perforación.<sup>30</sup>

- **Caso de estudio N°21**

El presente estudio llevado a cabo en el 2009 se centra en el monitoreo de aguas tropicales poco profundas (60 m de profundidad) de la Cuenca Potiguar en el margen ecuatorial brasileño con el objetivo de comparar las propiedades sedimentarias del fondo marino, incluyendo tamaño de grano, textura, composición mineral, contenido de carbonato y materia orgánica, antes de perforar con muestras obtenidas 3 y 12 meses después de la perforación. Se recolectaron sedimentos del lecho marino con una malla de muestreo radial concéntrica a 50, 100, 250 y 500 m del pozo y se obtuvo:

- Los efectos más notorios se observaron tres meses después de terminada la perforación, en términos de un cambio en la distribución del tamaño del grano asociado a un ligero aumento en el contenido siliciclástico. Este impacto se produjo en el sedimento más superficial (0-2 cm), en los radiales más cercanos al pozo (50 m) y podría estar asociado a la perforación. Sin embargo, un año después de la perforación, los sedimentos vuelven a mostrar las mismas características que antes de esta, lo que indica que la dinámica oceánica en esta área fue lo suficientemente alta como para recuperar las características originales del ambiente.

---

<sup>30</sup> CORREA, I. C., TOLDO, E. E., & TOLEDO, F. A. (2010). Impacts on seafloor geology of drilling disturbance in shallow waters. *Springer Science*, 1-10.

- En cuanto a los otros efectos encontrados como variaciones en la distribución de sedimentos bioclásticos, materia orgánica, grava y arena no se le atribuyen a la actividad de perforación costa afuera netamente, ya que es natural, considerando que el medio marino sufre influencias hidrodinámicas.<sup>31</sup>

- **Caso de estudio N°22**

La macrofauna bentónica de dos pozos de gas costa afuera (Ballena y Cocuina) se evaluó en Venezuela y se correlacionó con cambios en la química del sedimento: presencia de metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), hidrocarburos totales recuperables (TRPHs), aceites y grasas totales (TOG), granulometría, carbono orgánico total (TOC) e hidrocarburos alifáticos (AHs). Para ello, se realizó un análisis a cuatro intervalos de distancia desde el sitio de perforación hasta 1000 m del mismo. En el pozo Ballena, las muestras se recolectaron a los 15 días, 13, 19 y 30 meses después de la perforación a 190 m de profundidad. En el pozo Cocuina el muestreo se realizó justo antes y 15 días y 12 meses después de la perforación a 350 m de profundidad. Se utilizaron fluidos sintéticos o base agua durante la perforación. Los resultados obtenidos del estudio fueron:

- Se obtuvo un patrón temporal claro dado que las diferencias entre muestras disminuyeron con el tiempo después de la perforación.
- Los resultados sugieren que los cortes de perforación cambiaron inicialmente la química de los sedimentos, pero estos cambios tendieron a desaparecer aproximadamente dos años después de la perforación y fueron homogéneos a 1 km alrededor del sitio.

---

<sup>31</sup> SOUZA, C. R., VITAL, H., MELO, G. J., & R., S. C. (2015). Sediment studies associated with drilling activity on a tropical shallow shelf. *Springer International Publishing*, 1-16.

- Se observó un patrón temporal con respecto a la disminución de AHs y aumento de TOG a los 30 meses de terminada la perforación con respecto a los 19 meses. Para los 15 días se observó mayor concentración de PAHs que para 13 meses después de terminada la perforación en Ballena.
- En Cocuina los sedimentos antes de la perforación presentaron los niveles más bajos de AHs, TOG y TRPHs con diferencias apreciables hasta 12 meses después de terminada la actividad.
- La correlación entre variables ambientales y abundancia de organismos bentónicos se ilustra con el aumento de hidrocarburos aromáticos policíclicos y la reducción de poliquetos en Ballena.
- En Cocuina, los datos bióticos y ambientales no estuvieron correlacionados debido a que la química del sedimento varió entre tiempos, mientras que la abundancia de organismos fue consistentemente baja durante todo el estudio.
- Los cambios temporales pudieron estar asociados a las descargas de los cortes de perforación debido a que las muestras se tomaron antes y después de esta, mientras que en Ballena existe la limitación de que las muestras sólo se recolectaron después de la perforación.
- Considerando que los cortes en ambos pozos se descargaron en aguas someras, las corrientes superficiales los pudieron haber transportado varios kilómetros antes de depositarse, lo cual explicaría la ausencia de patrones espaciales en la escala de este estudio.
- En Ballena y Cocuina la macrofauna fue muy similar en términos de composición; los poliquetos, bivalvos y sipuncúlidos fueron los taxones dominantes.<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> GARCÍA, E., CRÓQUER, A., BASTIDAS, C., BONE, D., & RAMPOS, R. (2011). Primer estudio ambiental de descargas asociadas con perforaciones de gas costa afuera en la Plataforma Deltana, Venezuela. *Ciencias Marinas*, 37(2).

- **Caso de estudio N°23**

En este estudio se quiso detectar la influencia de la perforación en los sedimentos marinos mediante una comparación meta-analítica entre los datos de las prospecciones previas y posteriores a la perforación realizadas en la Cuenca de Campos, en el sudeste de Brasil, la cual cuenta con más de 1600 pozos perforados durante cuatro décadas de exploración de petróleo y gas albergando más del 90% de las reservas brasileñas y es responsable de cerca del 60% de la producción nacional a través de 48 pozos para el 2016. Para el muestreo se utilizaron datos de sedimentos de los programas de monitoreo ambiental realizados en pozos perforados entre 2010 y 2012 entregados a la Agencia Brasileña de Medio Ambiente (IBAMA). Gracias a la investigación, se encontró que Ba, Cu, y TPH (Hidrocarburos totales de petróleo) funcionan como trazadores de las actividades de perforación, porque muestran patrones de incremento en las concentraciones debido a esta. La tendencia de las concentraciones después de la perforación es a aumentar al aproximarse al punto de descarga dentro de los 500 m y en las direcciones Noreste y Suroeste, ya que en esas está asociada la Corriente del Brasil, que fluye preferentemente hacia SW. Otras variables como el contenido de finos, carbonatos, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V y Zn no mostraron un patrón concluyente que pudiera estar asociado a la influencia de las actividades de perforación, lo que sugiere que estas variables no son tan útiles para determinar la influencia de la actividad de perforación en los sedimentos marinos.<sup>33</sup>

- **Caso de estudio N°24**

En un caso de estudio desarrollado en alta mar a unos 30 a 50 km al norte de Alejandría, en el sector egipcio del Mediterráneo se analizaron los aspectos y

---

<sup>33</sup> PEREIRA, M. D., FARIAS, C., & HAMACHER, C. (2016). Offshore drilling effects in Brazilian SE marine sediments: a meta-analytical approach. *Springer International Publishing*, 11.

actividades del área de interés en términos de impacto en los componentes ambientales, basado en el desarrollo de un análisis de gestión ambiental para la explotación de gas natural en alta mar.

La calificación de los impactos se determina con base en la importancia de estos, la posibilidad de daño y de recuperación del medio ambiente, el alcance y la continuidad del impacto.

El uso de los factores anteriores permite evaluar los impactos presentes en la zona y el resultado es clasificado como “sin impacto” o “impacto menor”. Las Tablas 11 y 12 proporcionan un resumen de la evaluación de impacto ambiental del proyecto durante las fases de construcción y operación.

Tabla 11. Evaluación del impacto ambiental durante la fase de construcción

FUENTE DE LOS IMPACTOS	IMPACTOS
<b>Sedimentos del lecho marino</b>	
Presencia física de estructuras en el lecho marino: - Instalación de las dos plataformas, colocación de la protección al desgaste y zanjeo asociado a la instalación de tubería de exportación	Menor
<b>Hidrodinámica</b>	
La presencia física de estructuras en el lecho marino tendrá un efecto local sobre las corrientes y el transporte de sedimentos: - Instalación de las dos plataformas, colocación de la protección al desgaste y zanjeo asociado a la instalación de tubería de exportación	Menor
<b>Calidad del agua</b>	
Descargas de efluentes de rutina de las embarcaciones	

FUENTE DE LOS IMPACTOS	IMPACTOS
- Drenaje de cubierta no contaminado, drenaje potencialmente contaminado de la zona de máquinas, agua de enfriamiento del motor y desechos sólidos.	No
Alteración de los sedimentos del lecho marino durante el dragado, zanjeo, relleno y disposición de materiales de dragado.	Menor
<b>Calidad del aire</b>	
Emisiones atmosféricas por combustión de combustible  - Gases de escape de remolcadores y embarcaciones de dragado, generadores de energía, helicópteros, instalación de plataformas y trabajos de instalación de tuberías.	Menor
<b>Ruido</b>	
Ruido generado por la actividad de construcción:  - Helicópteros, instalación de plataformas, colocación de protección al desgaste y zanjas asociadas a la instalación de tubería de exportación.	Menor
<b>Peces</b>	
Alteración de los sedimentos del lecho marino durante el dragado, zanjeo, relleno y la disposición de materiales de dragado	Menor
Deterioro en la calidad del agua (aumento de la turbidez y descargas químicas).	No
<b>Mamíferos marinos</b>	
Ruido generado por la actividad de construcción  - Perturbación de los buques de construcción, helicópteros, tuberías de instalación, plataformas de instalación, colocación de protección al desgaste y zanjas.	Menor
Deterioro en la calidad del agua	No

<b>FUENTE DE LOS IMPACTOS</b>	<b>IMPACTOS</b>
<b>Flora y fauna bentónicas</b>	
Las perturbaciones resultantes de la presencia física de estructuras (tuberías de instalación, plataformas de instalación, colocación de protección al desgaste y zanjeo)	Menor
Deterioro en la calidad del agua (aumento de la turbidez)	Menor
<b>Aves marinas</b>	
Alteración de los patrones habituales de alimentación, reproducción o migración. - Perturbaciones de helicópteros, tuberías de instalación, plataformas de instalación, colocación de protección al desgaste y zanjas	Menor
Impacto secundario como resultado de impactos en presas de especies de peces. - Reducción de la calidad del agua de las actividades de dragado	No

Nota: ELBISY (2015). Environmental Management of Offshore Gas Platform in Abu Qir Bay, Egypt. *Springer Link*, 1-14.

Tabla 12. Evaluación del impacto ambiental durante la fase de operación

<b>FUENTE DE LOS IMPACTOS</b>	<b>IMPACTOS</b>
<b>Sedimentos del lecho marino</b>	
Presencia física de estructuras en el lecho marino: - Los impactos operacionales a largo plazo por la presencia de dos plataformas y la parte no enterrada del oleoducto.	Menor
- Tuberías enterradas cerca de la costa.	No
<b>Hidrodinámica</b>	

<b>FUENTE DE LOS IMPACTOS</b>	<b>IMPACTOS</b>
Presencia física de estructuras en el lecho marino tendrá un efecto local sobre las corrientes y el transporte de sedimentos: - Los impactos operacionales a largo plazo por la presencia de dos plataformas y la parte no enterrada del oleoducto.	Menor
- Tuberías enterradas cerca de la costa.	No
<b>Calidad del agua</b>	
Descargas de efluentes de rutina de las embarcaciones	No
Descargas de efluentes de rutina durante la operación - Descarga de agua producida separada durante la producción de gas.	Menor
- Prueba hidráulica de tuberías y equipo asociado.	Menor
- Pequeños derrames	Menor
- Residuos sólidos.	No
<b>Calidad del aire</b>	
Emisiones atmosféricas por combustión - Ventilación durante operaciones de mantenimiento, polvos y gases de purga.	No
- Pérdidas de equipos de procesamiento de gas.	No
- Buques de mantenimiento y vuelos en helicóptero.	No
<b>Ruido</b>	
Ruido generado por la actividad de la operación - Operaciones de plataformas y actividades asociadas a buques y helicópteros	No
<b>Peces</b>	

<b>FUENTE DE LOS IMPACTOS</b>	<b>IMPACTOS</b>
Deterioro en la calidad del agua.	No
<b>Mamíferos marinos</b>	
Ruido generado por las operaciones de la plataforma y actividad asociada a los buques y helicópteros	No
Deterioro en la calidad del agua	No
<b>Flora y fauna bentónicas</b>	
Deterioro en la calidad del agua (descargas de cortes de perforación desde las plataformas)	No
<b>Aves marinas</b>	
Alteración de los patrones habituales de alimentación, reproducción o migración.  - Debido a la actividad de los buques, helicópteros y luces de plataforma.	Menor
Impacto secundario como resultado de impactos en presas de especies de peces.	No

Nota: ELBISY (2015). Environmental Management of Offshore Gas Platform in Abu Qir Bay, Egypt. *Springer Link*, 1-14.

Finalmente se concluye en lo que se refiere al medio acuático que los principales problemas están relacionados con la presencia de las estructuras costa afuera y con los flujos de residuos de perforación, cortes, productos químicos de tratamiento de pozos y aguas producidas y que la mayoría de los impactos ambientales negativos previstos son de importancia baja a insignificante.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> ELBISY, M. S. (2015). Environmental Management of Offshore Gas Platform in Abu Qir Bay, Egypt. *Springer Link*, 1-14.

En busca de sintetizar los 24 casos de estudio expuestos anteriormente se elaboró una tabla resumen que muestra la zona impactada o el lugar de donde se tomaron muestras para su posterior análisis, el año de la investigación, la actividad generadora del impacto, los factores que indican el nivel de afectación y finalmente la conclusión a la cual cada uno llegó, los cuales pueden ser vistos en la Tabla 13.

Adicionalmente en la Figura 2 se observa un mapa global con las ubicaciones de los diferentes casos de estudio e iconos de localización de diferentes colores que indican el tipo de contaminante analizado en cada caso. Del total de estudios, 20 corresponden al impacto de los cortes y lodos de perforación, los cuales se dividían en 6 estudios para lodos base aceite, 10 base agua y 2 que involucraron ambos tipos de fluidos; los 6 estudios restantes fueron referentes al impacto de la etapa de perforación en general

Figura 2. Localización casos de estudio



Tabla 13. Tabla resumen de los 25 casos de estudio analizados

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
<b>Este de Canadá</b>	---	Moluscos (Mejillones y vieiras)	Aceite mineral de baja toxicidad	Contaminación y absorción de hidrocarburos durante la descarga	Los impactos desaparecieron al finalizar la descarga.
<b>Mar del Norte</b>	1975-2006	Comunidad bentónica	Cortes de perforación base agua	Se presentó una huella ecológica máxima a menos de 1000 m de la estructura.	Se mostraron efectos por los cortes durante al menos 6 a 8 años.
<b>Baltimore Canyon</b>	1978-1980	Gusanos poliquetos, estrellas de mar, macrofauna, peces demersales y sedimentos.	Perforación con lignosulfonato de Cromo-arcilla	Aumento de las concentraciones de Ba en gusanos poliquetos, reducción de la macrofauna por enterramiento, evidencia de microrelief y aumento del contenido de arcilla en los sedimentos.	Los impactos biológicos medibles habían desaparecido un año después.
---	1989	Platija y langosta	Lodo base agua	Bioacumulación del Ba como partículas de barita no	Poca transferencia de metales en la

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
				asimiladas en el sistema digestivo.	cadena alimenticia.
<b>Canal de Santa Bárbara</b>	1989	Almeja, poliqueto de alimentación de filtro y de depósito	Lodo base agua	Aumento de las concentraciones de Ba hasta 1500 m desde el pozo	Más del 97% del Ba permaneció en granos e insoluble y el 3% restante no es suficiente para ser tóxico.
<b>Mar del norte</b>	1990-1996	Macrozoobentos	Cortes, lodos base aceite, agua y sintética	Reducción de macrobentos cerca de los sitios de descarga para la mayoría excepto para el poliqueto oportunista <i>Capitella capitata</i>	El estrés se relaciona con el enriquecimiento orgánico y con la reducción de oxígeno disponible en el sedimento.
<b>Georges Bank</b>	1991	Vieiras <i>Placopecten magellanicus</i>	Cortes base aceite mineral sin diluir	La mortalidad crónica aumentó, el crecimiento del tejido reproductor y somático cesó y fracasó la acumulación de reserva de lípidos.	---
<b>Mar del Norte</b>	1993	Comunidad bentónica	Cortes base agua	Presencia de cortes de perforación	No se detectó cambio en la comunidad

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
				dentro de un radio de 95 m.	bentónica y un año después de la perforación los efectos desaparecieron.
<b>Golfo de México</b>	1996	Comunidad bentónica ( <i>Nematodos, poliquetos y peces</i> )	Lodos base agua	Aumento de nematodos y poliquetos alimentados con depósitos por presencia de materia orgánica.	No se detectó bioacumulación de hidrocarburos o metales. Presencia de Ba y Cd hasta 5 km.
<b>California</b>	1997	Abalones rojos ( <i>H. Rufescens</i> ) y corales ( <i>Paracyathus, Stearnsii</i> )	Lodos base aceite de baja toxicidad	Asentamiento de larvas, mortalidad de organismos adultos sésiles típicos de las comunidades de fondo duro y la pérdida de tejido en algunos individuos.	---
<b>Mar Adriático</b>	1998	Moluscos bivalvos ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> y <i>Corbula gibba</i> )	Lodos y cortes base agua / Presencia de la plataforma	Bioacumulación de metales (Pb, Cu y Zn) en los bivalvos cercanos a la estructura.	El ánodo de sacrificio es la fuente principal de exceso de metales en los tejidos de los bivalvos.

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
<b>Georges Bank</b>	1999	Vieiras <i>Placopecten magellanicus</i>	Bentonita y fluidos base agua y aceite	Mortalidad, crecimiento negativo, reducción en la eficiencia de captura de partículas de tamaño arcilla y disminución de las pérdidas de energía respiratoria (presente también en WBM*) por la bentonita. Los lodos base aceite causan mortalidad, cese de la alimentación e incapacidad para recuperarse durante los periodos de ausencia de OBM**.	El aceite mineral de baja toxicidad es de los contaminantes evaluados el más tóxico y los lodos base agua no resultan en daños físicos a los organismos.
<b>Plataforma North Rankin Australia</b>	1999	---	Lodos base aceite mineral de baja toxicidad	Los efectos agudos estaban contenidos a menos de 400 m desde el punto de descarga.	Tan pronto terminó la perforación.

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
<b>Plataforma Wanaea Australia</b>	1999	---	Lodos base aceite mineral de baja toxicidad	Efectos biológicos hasta 100 m, concentraciones de fondo de hidrocarburos y metales traza hasta 1200 m, niveles elevados de Ba hasta 200 m y de Pb hasta 100 m, disminución de la riqueza de especies hasta 5 m desde la plataforma.	Tres años después de que la perforación había acabado.
<b>Mar del Norte</b>	2002	Gusanos, mejillones y rodaballos	Cortes de lodos base aceite	Acumulación de Pb en los animales marinos.	Los metales asociados a los lodos de perforación tienen una biodisponibilidad baja.
<b>Mar Jónico</b>	2005	Nematodos	Etapas de perforación	Las plataformas alteran la estructura, heterogeneidad espacial, diversidad funcional y la historia de vida de los nematodos.	Se apreciaron diferencias evidentes hasta 1000 m de la estructura y se concluyó que a mayor tamaño

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
					de la plataforma más evidentes eran los impactos.
<b>Oslofjord sur de Noruega</b>	2006	Comunidad macrofaunal bentónica	Cortes de perforación base agua	Reducción significativa del número de taxones, abundancia, biomasa y diversidad con el aumento en el espesor de la capa de cortes y reducción de la profundidad de penetración del oxígeno	El agotamiento de oxígeno es considerado el factor principal de los efectos sobre el ecosistema.
<b>Cuenca de campos Brasil</b>	2006	Sedimentos	Etapas de perforación	Ajuste del tamaño de los granos, aumento del carbono orgánico total, gibbsita, illita y esmectita y una disminución en la caolinita.	---
<b>Margen continental</b>	2006	Foraminíferos bentónicos	Lodos y cortes base aceite	Disminución en la riqueza de especies	La huella máxima se

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
<b>I de Angola</b>				por la disposición de cortes y lodos.	encuentra a 1 km.
<b>Cuenta Potiguar Brasil</b>	2009	Sedimentos	Etapa de perforación	Aumento en el contenido siliciclástico.	Un año después de la perforación los sedimentos vuelven a mostrar las características iniciales.
<b>Venezuela</b>	2011	Macrofauna bentónica y sedimentos	Etapa de perforación	Aumento de hidrocarburos aromáticos policíclicos y la reducción de poliquetos	Los cambios en la química de los sedimentos desaparecieron 2 años después de la perforación
<b>Cuenca de Campos Brasil</b>	2012	Sedimentos	Etapa de perforación	Aumento de las concentraciones de Ba, Cu e hidrocarburos totales de petróleo.	Se observaron cambios hasta 500 m desde el punto de descarga.
<b>Langenue n Noruega</b>	2015	Espojas Geodia Barretti	Lodos y cortes base agua	Aumento de las concentraciones de Pb y reducción de la estabilidad de la membrana lisosomal por presencia de la barita.	No se encontraron efectos adversos en la salud del organismo por la

Ubicación	Año	Especie indicadora	Contaminante	Descripción del impacto	Información adicional
					bentonita suspendida.
<b>Bahía Abu Qir</b>	2015	---	Etapa de perforación	Alteración del sedimento, química del agua, patrones de alimentación, reproducción o migración de las aves, deterioro en la calidad del agua con afectación de la flora y fauna bentónica, peces y mamíferos.	Los principales problemas están relacionados con la presencia de la estructura costa afuera y con los residuos de fluidos de perforación.
<b>Mar Mediterráneo</b>	2017	Estrella <i>Amphiura filiformis</i> y Bivalvo <i>Abra segmentum</i>	Cortes y lodos base agua	Aumento de la anoxia de los sedimentos y reducción de la actividad de reestructuración del sedimento en los cortes de perforación, velocidad de transporte de oxígeno y nutrientes.	---

\*WBM = Water based mud (Lodos base agua)

\*\*OBM = Oil based mud (Lodos base aceite)

De los datos recolectados se deduce que las comunidades bentónicas son buenos indicadores del nivel de cambio que experimenta el sector costa afuera por las operaciones de perforación, ya que aproximadamente el 70% de los estudios utilizó como especie indicadora a organismos de esta comunidad.

Dependiendo de si la actividad de perforación o prueba de laboratorio utilizaba lodos base agua o base aceite los impactos hallados diferían y aumentaban su nivel de afectación. Para el caso de los lodos base agua los impactos más representativos son la bioacumulación de metales especialmente del Bario proveniente de la barita, reducción en la profundidad de penetración de oxígeno y cambio en la distribución de los organismos ya sea por disminución del número de individuos a causa del enterramiento, cambio en la diversidad o aumento de especies oportunistas debido a la presencia de material orgánico.

Para los lodos base aceite nuevamente el cambio en la distribución de los organismos se identifica como un impacto, con el agregado de que algunos organismos presentaban cese de crecimiento o pérdida de tejido. Adicionalmente se identifica a este tipo de fluidos como los de mayor afectación debido a que causan incapacidad de recuperación aun y cuando estos ya no están presentes.

Del total de investigaciones aproximadamente el 80% se interesó en la respuesta de los organismos a las actividades de perforación costa afuera y el porcentaje restante se enfocó en el análisis del impacto provocado a los sedimentos del fondo marino, siendo el componente biótico el más estudiado. Cabe resaltar que de los artículos seleccionados producto de los filtros no discutían aspectos ambientales como calidad del agua, calidad del aire, afectación de la vida marina de organismos diferentes a los ya mencionados, como es el caso de mamíferos, tortugas, aves, entre otros.

Al observar la distribución de los iconos de localización en la Figura 2 se concluye que el Mar del Norte con una producción aproximada de 2.99 MM bbl/d (U.S Energy

Information Administration, 2017) provenientes de Dinamarca, Alemania, Países Bajos, Noruega y Reino Unido es el sector con mayor número de casos estudiados que se relacionan con las operaciones de perforación costa afuera, esto concuerda con la importancia del sitio, pues numerosos proyectos son tomados como referencia por diversas compañías que establecen como su principal mercado la extracción marina, además de que el Mar del Norte es sede de uno de los principales indicadores de precios del petróleo del mundo, pues la marca de referencia de los mercados europeos es el petróleo tipo Brent que se extrae principalmente de este sitio.

Un factor importante a considerar es el tiempo que toma el ambiente marino para recuperarse de la alteración, encontrando un periodo de 1 a 2 años como el más usual entre los artículos. Otro aspecto notable es la distancia desde la plataforma sobre la cual se detectan efectos por las actividades de perforación costa afuera, esta varía según cada estudio siendo el menor valor reportado de 95 metros, en el cual se encuentra cortes base agua hasta esta distancia y un valor máximo a 5000 metros en base a otra investigación en el Golfo de México por aumento de las concentraciones de Bario y Cadmio a causa de la disposición de este mismo tipo de fluido; en cuanto a los lodos base aceite la mayor afectación encontrada fue de 1000 metros en el margen continental de Angola. Promediando los resultados de todas las investigaciones que indagaron sobre esta huella, se encontró que este trayecto es de aproximadamente 1000 metros independientemente del tipo de fluido descargado.

## 5 IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA EN COLOMBIA

Para identificar las actividades potenciales generadoras de algún tipo de impacto o afectación sobre los componentes abiótico y biótico se valoraron y analizaron los estudios de impacto ambiental de ocho bloques de perforación de la costa Caribe colombiana que obtuvieron licencia ambiental. Con el ánimo de contextualizar las zonas de interés se expondrá en la Tabla 14 una síntesis de la información más relevante con respecto a los bloques.

Tabla 14. Generalidades de ocho bloques ubicados en el Caribe Colombiano

Bloque	Área [km <sup>2</sup> ]	Profundidad columna de agua [m]	Profundidad vertical total [m]	Ubicación	Empresa operadora
**APEM RC9	591	20 – 1.100	3.658	La Guajira	Ecopetrol S.A.
***AIPE Jarara, Bloque Tayrona	7.222	200 – 2.000	5.638 – 6.401	La Guajira	Petrobras Colombia Limited
		Orca-1			
		674	4.239		
AIPE Tayrona	14.404	200 – 3.200	3.600 – 6.400	Atlántico, Magdalena y Guajira	Petrobras Colombia Limited

Bloque	Área [km <sup>2</sup> ]	Profundidad columna de agua [m]	Profundidad vertical total [m]	Ubicación	Empresa operadora
APEM Siluro	78,6	70 – 230	3.658	La Guajira	Repsol Exploración Colombia S. A
	Siluro-1				
	Perforado hasta una profundidad total de 2.042 m				
APEM Fuerte Norte	1.012	1.000 – 2.600	3.658	Córdoba, Sucre y Bolívar	Anadarko Colombia Company
	Calasú-1				
	Se perforó en el 2015 con columna de agua de 2.254 m.				
Bloques RC4 y RC5	AIPE 2.426	Plataforma continental 20 – 100	358 – 4.810	Bolívar y Atlántico	Equión Energía Limited
		Aguas profundas 100 – 2.300			
	Mapalé-1				
	-	40	3.703		
APEM Bloque	1.400	50 – 1.200	-	Córdoba y Antioquia	Anadarko Colombia Company
	Kronos-1				
	-	1.588	5.875		

Bloque	Área [km <sup>2</sup> ]	Profundidad columna de agua [m]	Profundidad vertical total [m]	Ubicación	Empresa operadora
Fuerte Sur					
APEM Purple Angel	AMI*	847 – 3.083	6.750	Córdoba, Sucre y Bolívar	Anadarko Colombia Company
	2.153	Gorgon			
	-	2.316	4.575		

\*AMI= Área de Mayor Interés

\*\*APEM=Área de Perforación Exploratoria Marina

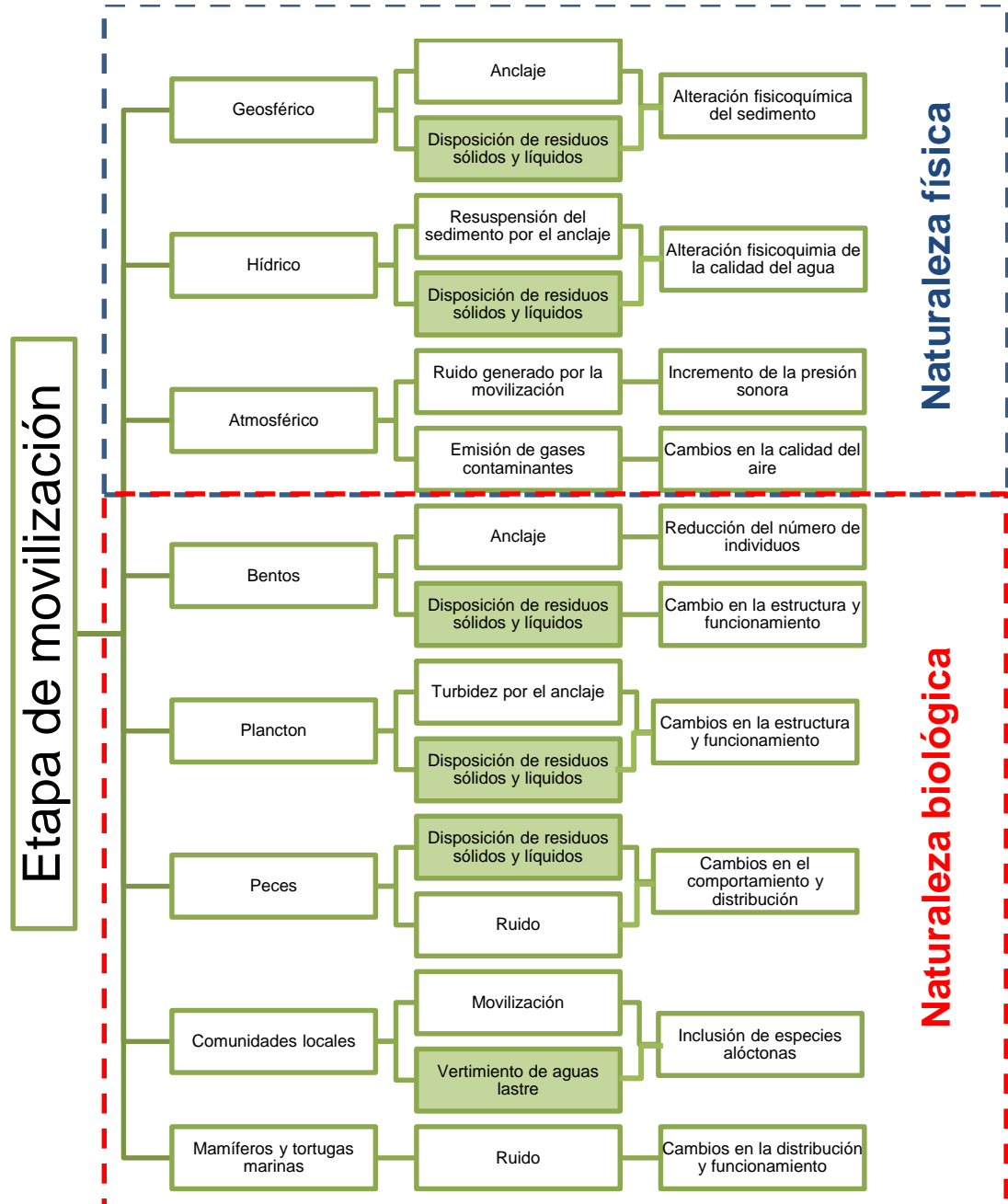
\*\*\*AIPE=Área de Interés de Perforación Exploratoria

De cada uno de los estudios de impacto ambiental se analizó el capítulo concerniente a la evaluación ambiental y se consideró la matriz de identificación de impactos de los proyectos mencionados con anterioridad para la elaboración de una nueva que los resuma (Tabla 16) y que permite obtener un listado de estas alteraciones generadas por la perforación costa afuera en las etapas de movilización y posicionamiento de equipos, perforación y abandono y desmovilización.

Para facilitar la comprensión de la matriz se realizaron las figuras 3, 4 y 5 donde se muestran de forma clara las actividades de las operaciones que generan impacto y la descripción de la alteración asociada al componente afectado para cada una de las etapas, adicionalmente en todas las figuras se encuentran algunos cuadros de texto sombreados con el color representativo de la etapa que resalta las actividades

que introducen residuos líquidos y sólidos al mar ya que son actividades presentes a lo largo de toda la operación.

Figura 3. Esquema de identificación de impactos para la etapa de movilización



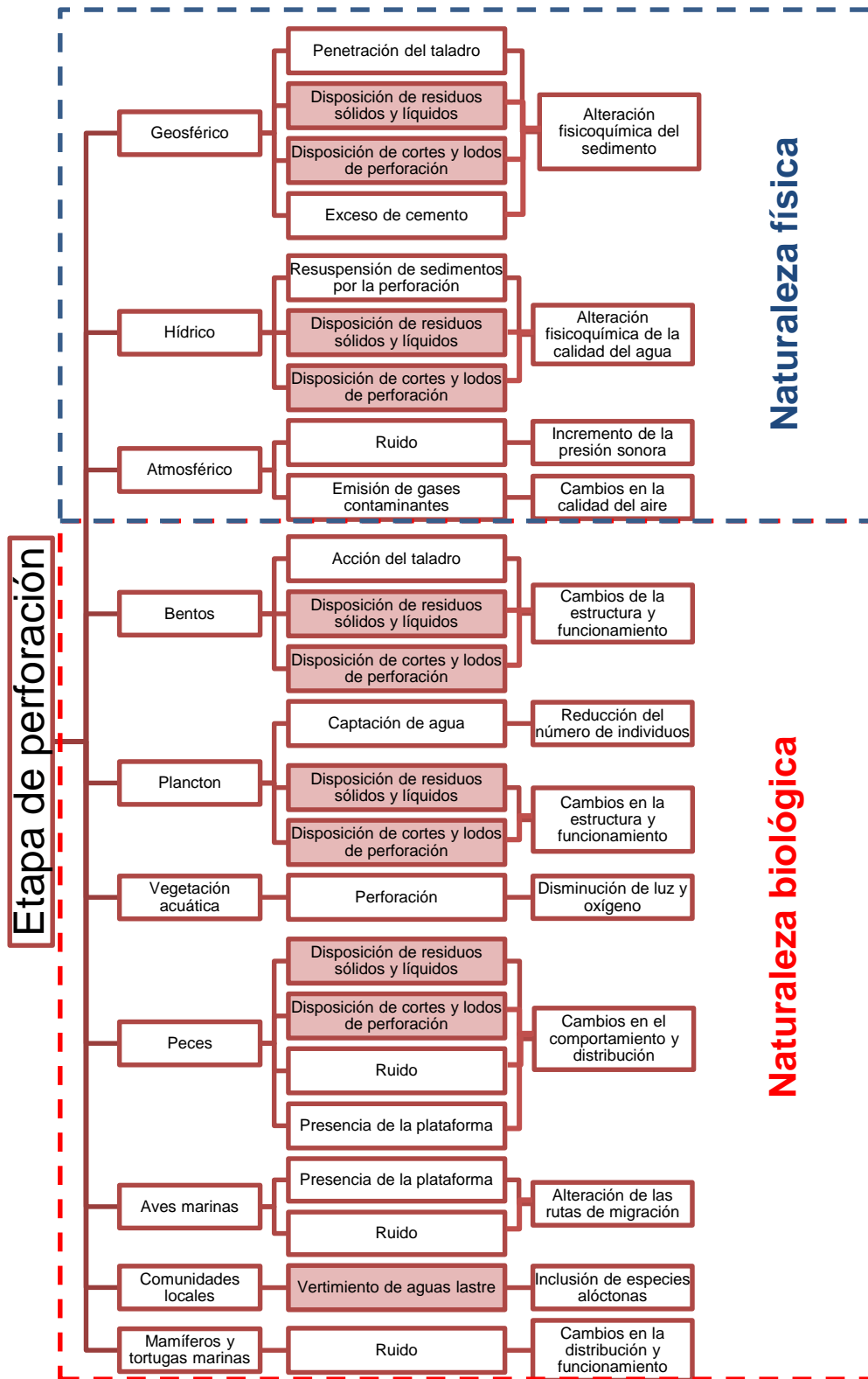
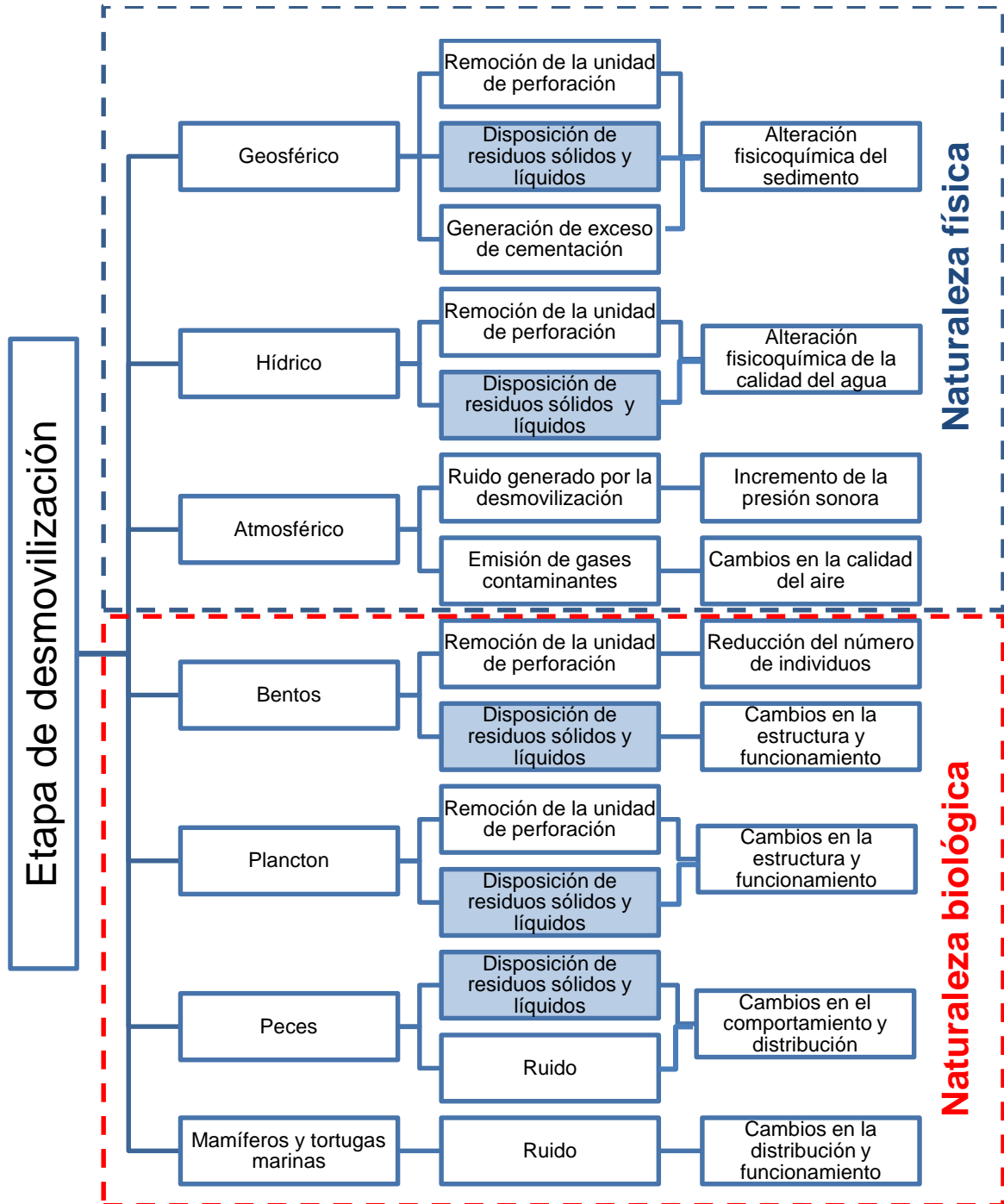


Figura 5. Esquema de identificación de impactos para la etapa de desmovilización



Partiendo de que las compañías realizan previamente la identificación y valoración de los impactos se realiza una reestructuración de la calificación de estos como se señaló en la metodología para finalmente clasificar el impacto según su influencia en Crítico, Severo, Moderado e Irrelevante. La valoración para cada clasificación se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Calificación de la influencia del impacto.

<b>Convención</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
<b>I</b>	Irrelevante	El impacto es negativo, pero su grado de afectación es mínimo.
<b>M</b>	Moderado	Se presenta un grado de afectación más evidente, pero puede ser asimilado por el recurso y manejado por el proyecto.
<b>S</b>	Severo	Los efectos en los componentes impactados son muy intensos y difícilmente asimilables por los recursos afectados.
<b>C</b>	Crítico	Los efectos sobre los componentes impactados serán devastadores para el recurso analizado.
	No aplica	El proyecto no califica la actividad generadora del impacto.

Tabla 16. Matriz resumen

Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación											
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1- Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro
<b>MOVILIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	Física	Geosférico	Sedimentos	El anclaje de la unidad de perforación causa alteración física del sedimento.	I	I	I		I	I			I		I	
				Disposición de residuos sólidos domésticos e industriales		Nulo		I	I	I					I	
				Vertimiento de residuos líquidos domésticos e industriales					I	I						
		Hídrico	Calidad del agua	El anclaje perturba los sedimentos y aumenta localmente la turbidez	I	I			I	I				I	I	
				Vertimiento de aguas	La disposición de agua de enfriamiento altera la temperatura del agua	I			I						M	I
					Disposición de aguas industriales	I			I	I	I			I		I
	Disposición de aguas residuales domésticas y grises				I	I		I					I	I	I	
	Disposición de residuos sólidos domésticos e industriales			I	Nulo		I	I	I			I	I	I		
	Incremento de la presión sonora dentro del mar							I	I			I				
	Captación de agua marina para uso doméstico e industrial											I	I			
	Atmosférico	Calidad del aire	Emisión de gases contaminantes	I	I	I	I	I	I	I	I	I	M	I		
			Ruido generado por la unidad de perforación y los buques de soporte	I	I		I	I	I	I	I	I		I		
	Biológica	Flora y Fauna	Fauna bentónica	El anclaje de la plataforma reduce el número de individuos de fauna bentónica de baja sensibilidad	I	I								I		
				El anclaje reduce el número de arrecifes de coral y comunidades bentónicas sensibles	S	I								I	M	
				Vertimiento de aguas residuales industriales en la columna de agua									I			

Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación																			
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1 - Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro								
Física y Biológica	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Vertimiento de aguas residuales domésticas en la columna de agua																				
				Disposición de residuos sólidos orgánicos		Nulo		I					I									I		
			Plancton	El anclaje de la unidad de perforación causa turbidez		I																	I	
				Vertimiento de aguas	Vertimiento de aguas de enfriamiento						I												I	
					Vertimiento de aguas industriales						I		I									M		I
					Vertimiento de aguas residuales domésticas y grises						I		I										I	I
				Disposición de residuos sólidos orgánicos						Nulo		I	I	I								I	I	
				Fuentes de sonido bajo el agua																		I		
			Peces	Vertimiento de aguas residuales domésticas y grises								I					I	I	I	I	I			
				Vertimiento de aguas industriales								I					I	I	I	I	I			
				Disposición de residuos sólidos orgánicos								Nulo						I	I			I	I	
			Comunidades locales	La disposición de aguas de lastre incluye especies alóctonas o foráneas								I											Nulo	
				La movilización introduce especies exóticas		I					I													
			Peces	Las embarcaciones podrán generar ruido en el área exploratoria durante la movilización y mientras la unidad de perforación está siendo colocada.								I												
			Mamíferos marinos																				I	
			Tortugas marinas																					I

PERFORACIÓN	Etapa		Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación													
	Naturaleza				Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1 - Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro		
	Componente																	
	Geosférico		Sedimentos	La penetración del taladro ocasiona perturbación del lecho marino		I	I		I	I			I					
				La disposición de cortes provoca dispersión de sedimentos finos	I		I	M	I	I	M	I	M	I	M	M		
				Disposición de lodos de perforación							M	I	M		I	I		
				Disposición de residuos sólidos domésticos e industriales		Nulo		I	I		I						I	
				Vertimiento de residuos líquidos domésticos e industriales						I								
				Generación de excesos de cementación por el revestimiento		I		M			M				I	I		
	Hídrico		Calidad del agua	Resuspensión de sedimentos debido a la perforación					I	I							I	
	Física			Disposición de cortes de perforación en el fondo marino provoca turbidez	I	M	M	I			I		M		I	I		
				Disposición de cortes en la columna de agua	M	M	M	M	I	I	M		M	I	M	I		
				Disposición de lodos de perforación	I			M			M		M		M			
				Disposición de residuos sólidos de rutina, domésticos e industriales	I	Nulo	M	I	I	I	I		I	I	I	I	I	
				Vertimiento de aguas	Vertimiento en el mar de agua de enfriamiento	I			I				I			I	I	
					Vertimiento de aguas colectadas en cubierta	I								I		M		
					Vertimiento de salmuera en el mar	I		M									I	
					Vertimiento de aguas residuales domésticas y grises	I	I		I	I	I	I		I	I	I	I	I
					Incremento de la presión sonora dentro del mar									I		I		
					Captación de agua marina									I		I		

Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación													
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1 - Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro		
	Atmosférico	Calidad del aire	Emisión de gases contaminantes	I	I	M	I	I	I	I	I	I	I	M	I	I		
			Ruido generado por el uso de maquinaria y equipos en la plataforma		M		I	I	I	I	I	I	I			I	I	
Biológica	Flora y Fauna	Plancton	Disposición de cortes de perforación		M	I	I	I	I	I					M	I		
			Vertimiento de lodos de perforación		M										M	I		
			Disposición de residuos sólidos orgánicos		Nulo		I	I	I	I					I	I	I	
			Vertimiento de aguas	Vertimiento de agua de enfriamiento	I			I			I		I				I	I
				Vertimiento de aguas de lastre				I			I		I			M	I	I
				Vertimiento de aguas industriales				I			I		I				I	I
		Vertimiento de aguas residuales domésticas y grises.			I		I	I	I	I		I			I	I	I	
		La captación de agua marina reduce la densidad de la comunidad planctónica				I	I	I	I					I		I		
		Fuentes de sonido bajo el agua												I				
		Presencia de luz artificial												I	I			
		Fauna bentónica	Disposición de lodos de perforación modifica las comunidades bentónicas				I	M	M	I		I		M	M	M	M	
			Disposición cortes de perforación afecta las poblaciones de especies bentónicas de baja sensibilidad	S	M	I	S	M	M	S	I	M	M	M	M	M	M	
			Disposición de cortes de perforación causa impactos en poblaciones coralinas y bentónicas sensibles	M	M		S	M	M	S		M	M	M	M	M	I	
Disposición de residuos sólidos orgánicos			Nulo		I			I		I					I			

Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación												
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1 - Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro	
				Vertimiento de aguas industriales domésticas en la columna de agua									-				
				Vertimiento de aguas residuales domésticas en la columna de agua									-				
				Acción del taladro de perforación e instalación del revestimiento		I		I	I	I				I			
				Generación de residuos de cementación												M M	
			Vegetación acuática	Las actividades de perforación y disposición de cortes y fluidos reducen la cantidad de oxígeno y niveles de luz reduciendo la eficiencia fotosintética.	I												
			Peces, mamíferos y tortugas	Presencia de la plataforma de perforación y las unidades de apoyo	I			I							I	I	
			Peces	Disposición de cortes de perforación		M	I	I	I	I			I	I	M	I	
				Vertimiento de lodos de perforación										I	I	M	
				Disposición de residuos orgánicos y agua residual doméstica	I								I	I		I	I
				Captación de agua											I		
				Vertimiento de aguas industriales					I					I		I	
			Mamíferos marinos	Generación y disposición de cortes de perforación					I	I				I			
			Aves marinas	La presencia de la embarcación altera la migración y hábitat de aves marinas	I	I		I	I	I				I	I	I	
				Exposición a las emisiones al aire											I		
			Comunidades locales	La disposición de aguas de lastre incluye especies alóctonas o foráneas		I		I								Nulo	

Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación															
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1- Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro				
ABANDONO Y DESMOVILIZACIÓN	Física y biológica	Geosférico	Peces	El ruido generado por las operaciones de perforación interfiere con la ecolocalización y por ende con la ubicación de alimento, interacciones sociales y orientación.		I			I											
			Tortugas marinas		I	I			I	I				I		M				
			Mamíferos marinos			M			I	I				I						
		Aves marinas												I						
	Física	Geosférico	Sedimentos	La remoción de la unidad de perforación causa alteración de los sedimentos		I	I			I	I						M	I		
				Generación de excesos de cementación por taponamiento del pozo					M	I	I				I					
				Vertimiento de residuos líquidos domésticos e industriales							I	I								
				Disposición de residuos sólidos orgánicos						I	I	I	I							I
		Hídrico	Calidad del agua	Generación de exceso de cemento por cierre del pozo		I					I	I					I			
				La remoción de la plataforma genera turbidez		I			M		I	I						I	I	
				Vertimientos de aguas	Vertimiento de agua de enfriamiento					M		I							M	I
					Vertimiento de aguas industriales							I	I						I	I
Vertimiento de aguas domésticas residuales y grises						M		I	I			I			I	I				
Disposición de residuos sólidos orgánicos							I	I	I	I				I	I					
Incremento de la presión sonora dentro del mar									I	I				I						
Captación de agua marina para uso doméstico e industrial														I						

Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación												
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1 - Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro	
Biológica	Atmosférico	Calidad del aire	Emisiones provenientes del equipo de transporte y retiro de la unidad de perforación	I		I	I	I	I	I	I	I	M	I	I		
			Ruido generado por la unidad de perforación y los buques de soporte	I			I	I	I	I	I	I		I	I		
	Flora y Fauna	Plancton	La extracción de la infraestructura genera turbidez que reduce la cantidad de luz disponible y afecta la biota fotosintetizadora	I											I		
			Disposición de residuos sólidos orgánicos				I	I	I	I		I	I	I	I	I	
			Vertimiento de aguas	Vertimiento de agua de enfriamiento				I				I			I	M	I
				Vertimiento de aguas de lastre				I				I				M	I
				Vertimiento de aguas industriales				I	I		I				I		I
				Vertimiento de aguas residuales domésticas y grises.		I		I				I			I	I	I
			Fuentes de sonido bajo el agua											I			
	Fauna bentónica	El retiro de la unidad de perforación reduce el número de individuos bentónicos de baja sensibilidad	I												I	M	
		El retiro de la unidad de perforación reduce el número de las poblaciones coralinas y otras comunidades bentónicas sensibles	S				I	I	I	I					I	M	
		Disposición de residuos sólidos orgánicos					I				I		I			I	
		Vertimiento de aguas residuales industriales en la columna de agua											I				
		Vertimiento de aguas residuales domésticas en la columna de agua											I				
Generación de exceso de cemento por ubicación del tapón							I				M		M				

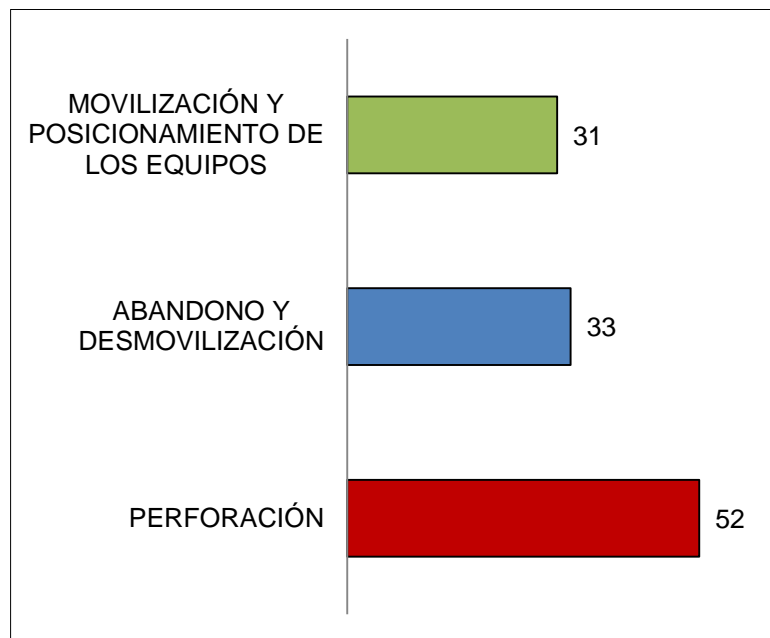
Etapa	Naturaleza	Componente	Aspecto Ambiental	Actividad generadora del Impacto Ambiental	Área de perforación											
					Bloques RC4 Y RC5	Mapalé 1 - Bloque RC5	AIPE Tayrona	Kronos 1	APEM Bloque Fuerte Sur	APEM Fuerte Norte	Calasú 1 - Fuerte Norte	AIPE Jarara / Orca 1	APEM RC9	Purple Angel / Gorgon	APEM Siluro	Siluro 1 - APEM Siluro
Física y Biológica	Peces	Peces	Disposición de residuos sólidos orgánicos								-	-		-	-	
			Vertimiento de aguas residuales domésticas y grises				I						I	I		
			Vertimiento de aguas industriales											I	I	
	Peces	Ruido generado por los buques de soporte y desmovilización de la unidad de perforación		I		I				I			I			
	Mamíferos marinos		I	M				I	I		I		I	I		
	Tortugas marinas		I					I	I		I		I	I	I	

Como puede observarse en la Matriz resumen (Tabla 16) solo se muestran los impactos negativos de las operaciones, esto debido a que para el objeto del trabajo se busca identificar las alteraciones de carácter nocivo para el medio ambiente, no obstante a lo largo de los proyectos las compañías encontraron algunos impactos positivos asociados sobre todo a la presencia de la unidad de perforación y a la disposición de residuos sólidos orgánicos para las comunidades ícticas, aves, tortugas y mamíferos marinos. La estructura de perforación por su parte genera un hábitat temporal para las especies que se concentran a la sombra, buscando refugio y alimento y la disposición de material orgánico aumenta la disponibilidad de nutrientes para estas comunidades. Adicionalmente no se tuvo en cuenta los impactos asociados a los programas de sísmica, etapas preoperativa y pruebas de

producción, así como no se incluyeron las interacciones entre las actividades del proyecto y el medio socioeconómico.

Con base en la Matriz resumen se tabularon el número de proyectos que calificaban cada impacto y se elaboraron diversos diagramas de barras para diferentes combinaciones como todas las etapas, por etapa, por aspecto ambiental y finalmente por impactos totales. Para el desarrollo de este capítulo se graficaron solamente los impactos que recibieron calificación de moderado a severo y se muestran los gráficos que se consideran de mayor relevancia.

Figura 6. Número de actividades generadoras de impacto por etapa



De los 116 impactos encontrados que afectan los componentes geosférico, hídrico, atmosférico y flora y fauna, 52 pertenecen a la etapa de perforación como se puede

observar en la Figura 6. Esta etapa es la que contiene el mayor número de actividades generadoras de impacto ya que a este periodo se le añade la disposición de cortes y lodos, actividades que no están presentes en la movilización y desmovilización de la unidad de perforación.

Por otra parte, para la etapa de movilización se determinaron 31 impactos que se consideran casi nulos puesto que de todas las actividades calificadas en los 12 proyectos por las compañías aproximadamente el 46% no consideró el impacto generado por esta etapa, es decir no se identificó ni valoró algunas de las alteraciones listadas en la matriz. El porcentaje restante de impactos en su mayoría fueron evaluados como irrelevantes, tan solo el 2% se calificaron como moderados y únicamente un proyecto valora como severo una perturbación, ésta relacionada con los efectos sobre los arrecifes de coral y las comunidades bentónicas sensibles por el anclaje de la plataforma debido a que dentro de la región de desarrollo del proyecto se reportó la presencia de estas poblaciones, aunque es importante destacar que no directamente en el Área de Interés de Perforación Exploratoria. Dados estos porcentajes puede deducirse que la etapa de movilización y posicionamiento de equipos no modifica las condiciones ambientales de la zona o si lo hace el ambiente se recupera tan pronto las actividades cesen.

En cuanto a la etapa de abandono y desmovilización se determinaron 33 impactos (Figura 6), dos más que para la fase de movilización relacionados con la generación de excesos de cemento. Teniendo en cuenta la similitud de los impactos evaluados en ambas etapas y la semejanza en los porcentajes de calificación para estos se puede concluir que esta etapa tampoco altera en gran proporción el estado ambiental de la zona donde se ejecutan las operaciones.

Ya identificada la etapa más problemática se orientó el análisis a las actividades generadoras de daño o impacto ambiental potencial en la perforación, para ello se revisó la Matriz resumen, se ordenaron los impactos de mayor a menor significancia y se seleccionaron las acciones más perjudiciales basándose en la calificación alta

(intensidad del impacto) y la frecuencia con la que se repitió. Esto se evidencia en el gráfico de barras de la Figura 7 mediante el cual se puede establecer que la disposición de cortes y lodos de perforación causan la mayor afectación sobre el sedimento, la columna de agua y principalmente sobre las comunidades bentónicas. Después de identificada la etapa y la actividad que mayor alteración genera al ecosistema se reconocerá el aspecto ambiental más afectado sumando todas las calificaciones de los proyectos de moderado a severo que hacen parte del mismo aspecto independientemente de la actividad y de la fase a la que pertenezcan como se muestra en la Figura 8.

Figura 7. Impactos significativos de la etapa de perforación

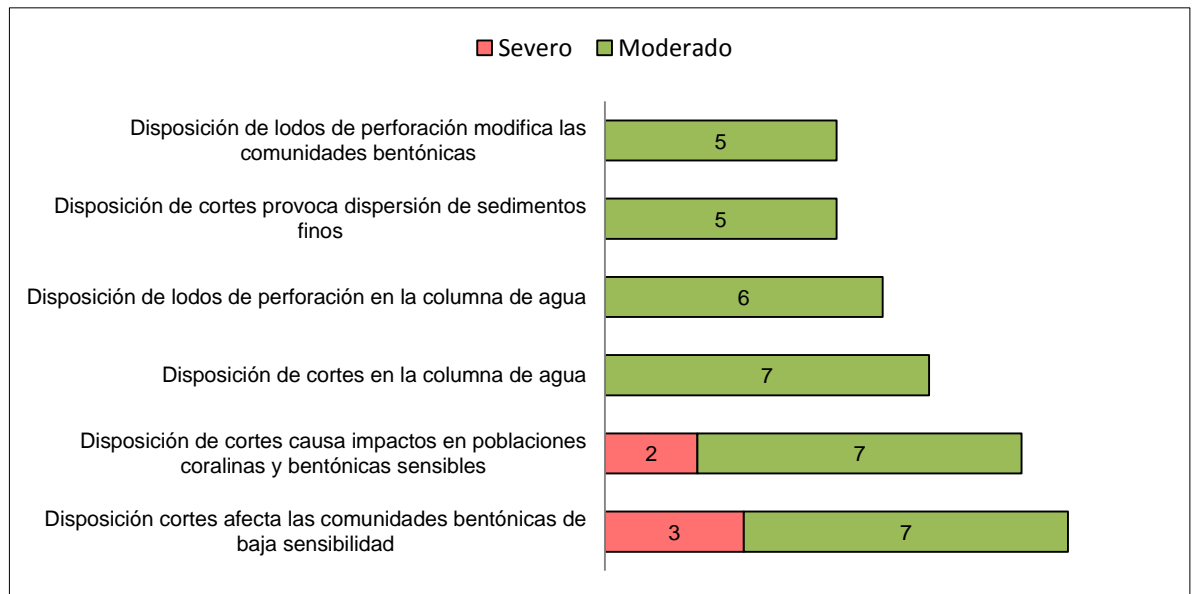
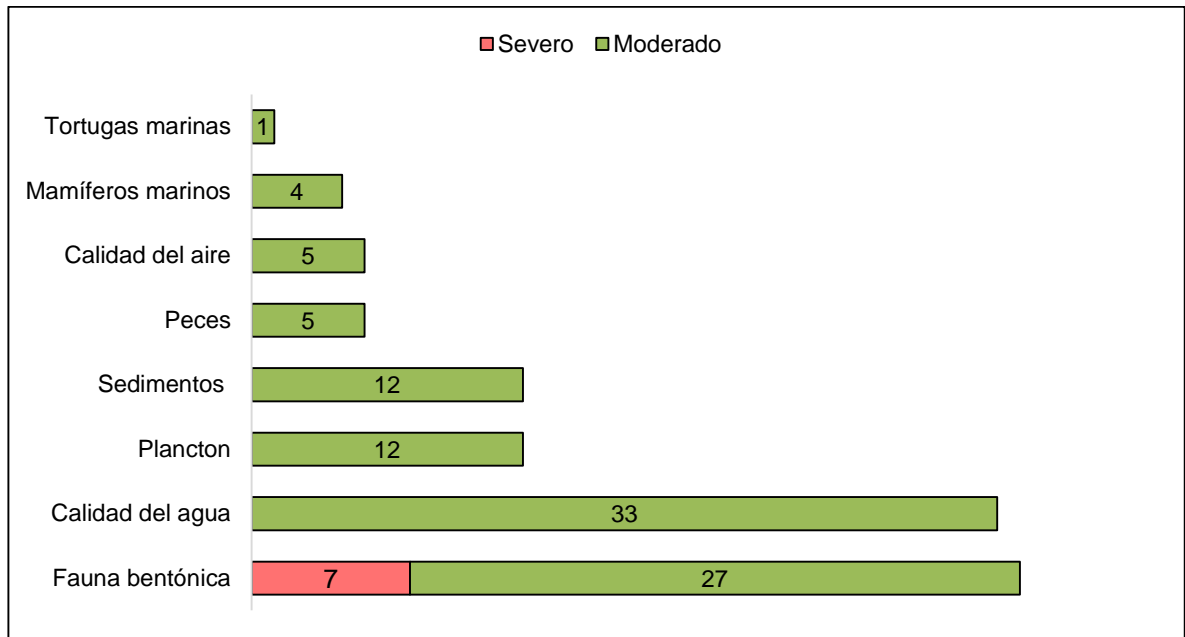


Figura 8. Impactos totales por aspecto ambiental.

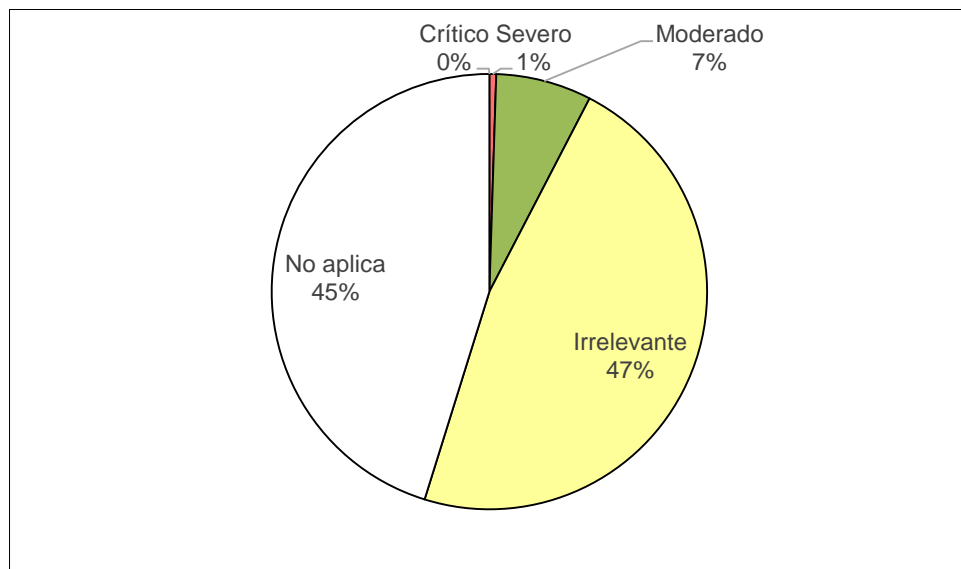


A partir de los impactos totales por aspecto ambiental identificados en la Figura 8 se reconoce que la fauna bentónica y la calidad del agua son los aspectos a los que mayor monitoreo se les debe dar porque son los factores que acumulan más calificaciones relevantes. Es importante aclarar que a pesar de que en las comunidades bentónicas se valoraron impactos severos, es la calidad del agua el aspecto que más se mencionó en las evaluaciones ambientales de cada proyecto con aproximadamente 27% más que la cantidad de calificaciones evaluadas para fauna bentónica incluida la puntuación de irrelevante. Entonces se concluye que la calidad del agua es el componente abiótico que comúnmente se afecta, pero son los organismos bentónicos los más vulnerables a las actividades de perforación costa afuera.

Por otra parte, existen componentes bióticos como comunidades locales, vegetación acuática y aves marinas que no se consideran impactados pues son muy

pocos los proyectos que los tienen en cuenta y en el caso de que así sea su significancia ambiental es muy baja. En este grupo también se puede incluir a las tortugas y mamíferos marinos ya que en la mayoría de estudios el grado de afectación es mínimo con la excepción de dos proyectos que los calificaron como moderados debido a que hubo avistamiento de estas especies en la zona.

Figura 9. Calificación general de los impactos en todas las etapas.



Finalmente se contabilizaron los impactos para todas las etapas según la clasificación mostrada en la Tabla 15 con el fin de conocer de manera global cual es el panorama de los efectos negativos de las operaciones costa afuera. Esto se muestra en la Figura 9 donde se aprecia que una gran proporción de impactos no fueron identificados por las empresas (45% de la sección del diagrama: No aplica) probablemente porque no eran representativos para la zona analizada debido a que el aspecto ambiental afectado no estaba presente o porque algunas actividades

generadoras de impactos no se ejecutaron como la disposición de residuos sólidos al mar. Por otra parte, se observa en el diagrama circular que el 47% de los impactos fueron valorados como irrelevantes, es decir su grado de afectación es mínimo y la recuperación del sector afectado será bastante rápida. En total se obtiene que el 92% de las afectaciones son de significancia ambiental baja o no fueron calificadas y el 8% restante representa las alteraciones que considerablemente afectan el medio marino destacando que hacen parte en su mayoría de la etapa de perforación y que alteran especialmente a las comunidades bentónicas y la calidad del agua por la disposición de lodos y cortes.

## **6 RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO AMBIENTAL DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA**

En el desarrollo de esta sección se plantearán recomendaciones para el manejo ambiental de los impactos más influyentes proyectados por las operaciones de perforación costa afuera con el fin de prevenir, mitigar y/o controlar las alteraciones sobre el medio ambiente en los componentes físicos y bióticos. Con base en los resultados obtenidos anteriormente en el que se reconoce que las operaciones en altamar no ocasionan un escenario muy contaminante ni impactante, se enfoca el desarrollo del capítulo al planteamiento de sugerencias que mejoren las afectaciones que mayor potencial de deterioro le causan al ambiente como son la disposición de cortes y lodos de perforación sobre la columna de agua y las comunidades bentónicas.

En primera medida se propone que la disposición de lodos y cortes de perforación al mar sea nula siempre y cuando sea posible, esto con el fin de suprimir los efectos sobre el ecosistema acuático manteniendo el equilibrio del medio ambiente ya que no se estarían agregando agentes extraños y el entorno estaría libre de impactos. Para adoptar esta alternativa se recomienda que los cortes de perforación sean llevados a la costa y se contrate el tratamiento de estos residuos a entidades que realicen gestión de los mismos y estén autorizadas y avaladas por la autoridad ambiental con el propósito de evitar la descarga al mar y por ende su afectación.

Si la anterior propuesta no es viable para las compañías en el desarrollo de los proyectos costa afuera se sugiere mitigar el impacto mediante el mejoramiento en el tratamiento de los cortes de perforación, a través de procedimientos minuciosos que aseguren condiciones óptimas para la descarga de estos residuos, así como la reutilización de los lodos a través de la recirculación de estos mientras sus

propiedades lo permitan para que los volúmenes que finalmente se descarguen sean reducidos al mínimo. Otra posibilidad es el uso de técnicas que moderen los impactos como el empleo de dispositivos adicionales que hacen más larga la tubería de descarga de manera que el radio de los depósitos de cortes sea menor disminuyendo también la zona de afectación.

Independientemente de las medidas que se escojan se recomienda utilizar en la medida de lo posible lodos base agua, puesto que los resultados del análisis de operaciones alrededor del mundo muestran que estos son los fluidos menos nocivos para el medio acuático.

Luego de haber enunciado recomendaciones que buscan anular o minimizar los impactos ambientales debidos a la disposición de cortes y lodos, se plantea, por último, orientar el manejo ambiental al monitoreo de los efectos negativos antes, durante y después de la perforación que puedan llegar a presentarse sobre la fauna bentónica y la calidad del agua con el fin de controlarlos oportunamente. En cuanto a los organismos del fondo marino se puede analizar el suelo con el objetivo de determinar la presencia de comunidades sensibles y darle seguimiento al comportamiento de estas mediante muestreo en aguas someras; también se pueden elaborar estudios de modelación para simular la trayectoria y la dispersión de los cortes de perforación que se pretendan descargar al mar utilizando herramientas informáticas, datos operacionales y de clima marítimo y así conocer la región implicada.

La mejor forma de prever o controlar las condiciones del entorno debidas a la contaminación producto de las operaciones más perjudiciales es a través del análisis de los fluidos de perforación mediante la toma de muestras aleatorias de los lodos para establecer la toxicidad aguda de estos y para determinar la concentración de metales como Cadmio, Mercurio y Cromo procedentes de la barita

y bentonita destinadas a la formulación de estos fluidos, esto con el fin de evitar cantidades tóxicas perjudiciales para el ambiente.

En resumen, en cuanto a las recomendaciones para el manejo ambiental de las operaciones de perforación costa afuera se sugiere en primera instancia, anular la descarga de cortes y lodos y de no ser posible disminuir al máximo el volumen de residuos por medio de lo ya propuesto. Finalmente, y no por eso menos importante, se plantea el constante seguimiento de los aspectos ambientales bióticos y abióticos en el entorno marino, ya que es por medio de este que se toman acciones pertinentes.

## 7 CONCLUSIONES

- Del análisis de la información técnico-científica seleccionada a nivel mundial y empleada para la realización de este documento se puede afirmar que los fluidos de perforación menos perjudiciales para el ecosistema marino son los lodos base agua y que los base aceite son los que mayor afectación causan. Esto es sustentado en la comparación de los efectos identificados para ambos tipos de fluidos, pues el alcance del impacto fue más notorio y severo en los lodos base aceite.
- Aproximadamente el 80% de las investigaciones efectuadas en otros países se interesaron en la respuesta ocasionada por las actividades de perforación costa afuera en los organismos que habitan tanto el lecho marino como la columna de agua, debido a que las pruebas sobre los componentes bióticos permiten evidenciar más fácil y claramente los impactos por las operaciones.
- El tiempo de recuperación de la zona alterada descrito en los casos de estudio desarrollados en diferentes puntos geográficos es entre 1 y 2 años después de terminadas las actividades de perforación y la distancia desde la plataforma sobre la cual se detectaron efectos oscila entre los 0 a 1000 metros.
- De acuerdo con el análisis de los estudios de impacto ambiental avalados por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales se pudo establecer que las operaciones de perforación costa afuera no representan un escenario de impactos ambientales negativos significativos, ya que del total de

calificaciones otorgadas a las actividades tan solo el 8% implica alteraciones de nivel moderado y severo.

- Según la evaluación ambiental de los proyectos en Colombia, se reconoce que en las operaciones costa afuera la etapa que más afectación tiene sobre el medio marino es la perforación, por ser la fase de mayor permanencia durante todo el programa en comparación con la movilización y desmovilización. De acuerdo con esto, se identificó que la disposición de cortes y lodos es la actividad que mayor significancia ambiental o relevancia tiene porque posee el mayor potencial de contaminación o efectos ambientales negativos sobre el medio.
- La fauna bentónica y la calidad del agua son los elementos ambientales más vulnerables, ya que los impactos asociados a estos dominan en cuanto a frecuencia y severidad en la evaluación identificándolos como los componentes más débiles y claves desde el punto de vista ambiental en las operaciones de perforación costa afuera.
- El planteamiento de las recomendaciones para el manejo ambiental de las operaciones costa afuera debe enfocarse a las sugerencias que prevengan, mitiguen y/o controlen los impactos debidos a la disposición de cortes y lodos de perforación por ser la actividad con mayor potencial de afectación, proponiendo reducir al máximo los volúmenes de descargas y monitorear los aspectos ambientales bióticos y abióticos en el entorno marino asociados a su disposición.

## 8 RECOMENDACIONES

- Analizar información verídica y soportada por entidades o bases de datos fidedignos como la base de datos en línea de la Universidad Industrial de Santander o las autoridades ambientales referente a los programas de sísmica y a la etapa de producción para reconocer los impactos y su significancia ambiental, con el fin de obtener un panorama más completo de las operaciones petrolíferas costa afuera. Adicionalmente, se plantea la evaluación del aspecto socioeconómico tanto en las etapas identificadas en este documento como en las recomendadas anteriormente para complementar los aspectos ambientales ya reconocidos.
- Los derrames de hidrocarburos en el mar involucran los impactos más alarmantes y perjudiciales, por lo que se sugiere realizar investigaciones exhaustivas de incidentes registrados tanto a nivel mundial como local, la causa que los genera y los impactos ambientales y socioeconómicos que provocan. A partir de esta información, se recomienda buscar estrategias que reparen los impactos identificados y la forma de prevenir las causas que los provocan.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGWA, A., LEHETA, H., SALEM, A., & SADIQ, R. (2012). Fate of drilling waste discharges and ecological risk assessment in the Egyptian Red Sea: an equivalence-based fuzzy analysis. SpringerLink, 1-13.
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Estudio de Impacto Ambiental del Área de perforación exploratoria marina bloque Fuerte Sur. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Estudio de Impacto Ambiental del Área de perforación exploratoria marina Purple Angel. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Estudio de Imapacto Ambiental del Área de perforación exploratoria marina Fuerte Norte. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- CAPP-Canadian Association of Petroleum Producers . (2001). Offshore Drilling Waste Managment Review. Technical Report.
- CHAKRABARTI, S., HALKYARD, J., & CAPANOGLU, C. (2005). Handbook of Offshore Engineering Historical Development of Offshore Sructures (Vol. 1). (C. Bautista, & A. Delgado, Trads.) Amsterdam: Elsevier.
- COLOMBIA. AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Acuerdo 04 de 2012 (4, Mayo, 2012). Por el cual se establecen criterios de administración y asignación de áreas para exploración y explotación de hidrocarburos propiedad de la Nación.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLCIA. Ley 357 (21, Enero, 1997). Por medio de la cual se aprueba la “Convención relativa a los humedales de

importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas”, suscrita en la ciudad de Ramsar-Irán el 2 de febrero de 1971”.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 356 (21, Enero, 1997). Por medio de la cual se aprueban el "Protocolo relativo a las áreas y flora y fauna silvestres especialmente protegidas del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe".

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1450.(16, junio, 2011). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 12 (19, Enero, 1981). Por medio de la cual se aprueba la "Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques", dada en Londres el 2 de Noviembre de 1973.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1875 (2, agosto,1979). Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 0627 (7, abril,2006). Por la cual se establece la norma nacional de ruido y ruido ambiental.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 948 (5, junio, 1995). Por el cual se reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 1895. (15, septiembre,1973). Por el cual se dictan las normas sobre exploración y explotación de petróleos y gas.

- COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 3930. (25, octubre,2010).  
Por el cual se reglamenta los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
- CORREA, I. C., TOLDO, E. E., & TOLEDO, F. A. (2010). Impacts on seafloor geology of drilling disturbance in shallow waters. Springer Science, 1-10.
- CRANFORD, P., GORDON, D., ARMSWORTHY, S., & TREMBLAY, G. (1999). Chronic toxicity and physical disturbance effects of water- and oil-based drilling fluids and some major constituents on adult sea scallops (*Placopecten magellanicus*). Marine Environmental Research, 48, 1-32.
- ECOPETROL S.A. Estudios de Imapcto Ambiental del Área de perforación exploratoria marina RC9. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- EDGE, K. J., JOHNSTON, E. L., DAFFORN, K. A., & SIMPSON, S. L. (2016). Sub-lethal effects of water-based drilling muds on the deep-water sponge *Geodia barretti*. Environmental Pollution, 1-10.
- ELBISY, M. S. (2015). Environmental Management of Offshore Gas Platform in Abu Qir Bay, Egypt. Springer Link, 1-14.
- EQUION ENERGIA LIMITED. Estudio de Impacto Ambiental de la perforación exploratoria de los bloques RC4 y RC5. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- FRASCHETTI, S., GUARNIERI, G., GAMBI, C., BEVILACQUA, S., TERLIZZI, A., & DANOVARO, R. (2016). Impact of offshore gas platforms on the structural and functional biodiversity of nematodes. Marine Environmetal Research, 115, 1-9.
- GARCÍA, E., CRÓQUER, A., BASTIDAS, C., BONE, D., & RAMPOS, R. (2011). Primer estudio ambiental de descargas asociadas con perforaciones de gas costa afuera en la Plataforma Deltana, Venezuela. Ciencias Marinas, 37(2).

- GESAMP, Joint Group of Experts on the Scientific. (2002). The Revised GESAMP Hazard Evaluation Procedure for Chemical Substances Carried by Ships. London.
- HENRY, L.-A., HARRIES, D., KINGSTON, P., & ROBERTS, J. M. (2017). Historic scale and persistence of drill cuttings impacts on North Sea benthos. *Marine Environmental Research*, 129, 1-10.
- HOLDWAY, D. A. (2002). The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 1-19.
- JORISSEN, F. B. (2009). Impact of oil based drill mud disposal on benthic foraminiferal assemblages on the continental margin off Angola. *Dep-Sea Research II*, 1-22.
- MINAMBIENTE-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ANLA-Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2016). Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental-EIA en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera. Bogora D.C.
- Neff, J. (2005). Composition, environmental fates, and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment. 35-47.
- NPC, The National Petroleum Council;. (2011). Subsea Drilling, Well Operations and Completions. [En línea] Disponible en: [https://www.npc.org/Prudent\\_Development-Topic\\_Papers/2-11\\_Subsea\\_Drilling-Well\\_Ops-Completions\\_Paper.pdf](https://www.npc.org/Prudent_Development-Topic_Papers/2-11_Subsea_Drilling-Well_Ops-Completions_Paper.pdf).
- OKOGBUE, C. O., ANYIAM, O. A., & ADUN, A. A. (2016). Impact assessment of drilling waste generated in "Eden Field" offshore, Niger Delta, Nigeria. *SpringerLink*, 1-9.

- PEREIRA, M. D., FARIAS, C., & HAMACHER, C. (2016). Offshore drilling effects in Brazilian SE marine sediments: a meta-analytical approach. Springer International Publishing, 11.
- PETROBRAS COLOMBIA LIMITED. Estudio de impacto ambiental del Área de interés de perforación exploratoria costa afuera Jarara, Bloque Tayrona. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- PETROBRAS COLOMBIA LIMITED. Estudio de Impacto Ambiental del Área de interés de perforación exploratoria Tayrona. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- REPSOL EXPLORACIÓN COLOMBIA S.A. Estudio de Impacto Ambiental del Área de perforación exploratoria marina Siluro. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES-ANLA.
- SOUZA, C. R., VITAL, H., MELO, G. J., & R., S. C. (2015). Sediment studies associated with drilling activity on a tropical shallow shelf. Springer International Publishing, 1-16.
- TANAKA, S., OKADA, Y., & ICHIKAWA, Y. (2005). Offshore Drilling and Production Equipment Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Oxford: Eolss Publishers. [En línea] Disponibles en: [http://www.offshorecenter.dk/log/bibliotek/E6-37-06-04\[1\].pdf](http://www.offshorecenter.dk/log/bibliotek/E6-37-06-04[1].pdf).
- TRANNUM, H. C. (2017). Drilling discharges reduce sediment reworking of tow benthic species. Marine Pollution Bulletin, 1-4.
- TRANNUM, H. C., NILSON, H. C., SCHAANNING, M. T., & OXNEVAD, S. (2009). Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 383, 1-11.

WIESE, F., MONTEVECCHI, W., DAVOREN, G., HUETMANN, F., A., D., & J., L.  
(2001). Seabirds at Risk around Offshore Oil Platforms in the North-west  
Atlantic. *Marine Pollution*, 42, 1-6.

## ANEXO

**AGUAS COLECTADAS EN CUBIERTA:** El agua recolectada a través de los drenajes de cubierta, ubicados en áreas que tienen la posibilidad de la presencia de grasa o productos químicos. Se pasará por un separador de aceites y grasas, y se dispondrá al mar si tiene menos de 15 ppm de hidrocarburo.

**AGUAS DE ENFRIAMIENTO:** Es agua de mar empleada para enfriar los equipos de perforación. El agua estará en contacto con ningún compuesto químico que pudiese afectar su composición química por lo que es vertida al mar.

**AGUAS DE LASTRE:** Es el agua de mar empleada para mantener la estabilidad de las embarcaciones marinas, durante este proceso las embarcaciones llenan sus tanques de lastres que les permita, según sus capacidades de carga, tener la estabilidad y seguridad para la navegación.

**ALMEJA:** Molusco lamelibranquio marino, con valvas casi ovales, mates o poco lustrosas por fuera, con surcos concéntricos y estrías radiadas muy finas, blanquecinas y algo nacaradas en su interior, y carne comestible y muy apreciada.

**ALIMENTACIÓN DE DEPÓSITO:** Ingestión de alimentos por parte de organismos consumidores de depósito o detritívoros, los cuales extraen el alimento del sedimento. Dentro de este grupo, se distinguen los consumidores de depósito de superficie que toman las partículas alimenticias del sedimento con sus palpos o tentáculos y los consumidores de depósito de sub-superficie o excavadores, los

cuales se entierran dentro del sustrato blando para alimentarse de las capas inferiores de sedimento.

**ALIMENTACIÓN DE FILTRO:** Ingestión de alimentos por parte de organismo suspensívoros o filtradores, los cuales extraen el alimento de la columna de agua.

**ANFÍPODOS:** Dicho de un crustáceo acuático de pequeño tamaño (rara vez supera los 10 mm) casi siempre marino, con el cuerpo comprimido lateralmente, el abdomen encorvado hacia abajo, antenas largas, siete pares de patas torácicas, locomotoras, y seis pares de extremidades abdominales, algunas de ellas aptas para saltar.

**ANTROPOGÉNICO:** El adjetivo antropogénico o antrópico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.

**BACTERIOPLANCTON:** Incluye una gran diversidad de organismos de los dominios bacteria y archaea y constituye una pieza fundamental del entramado biológico oceánico debido a su número, diversidad y actividad, vive a expensas de las partículas que se sedimentan en el fondo del mar.

**BENTOS:** Conjunto de organismos que viven en los fondos acuáticos.

**BIOACUMULACIÓN:** Hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo de metales u otras sustancias persistentes en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).

**BIODEGRADACIÓN:** Proceso de descomposición de una sustancia mediante la acción de organismos vivos.

**BIODISPONIBILIDAD:** Afinidad de un contaminante para ser absorbido por un organismo vivo, atravesando las barreras biológicas (membranas celulares o epitelios), mediante procesos biológicos activos o procesos pasivos de tipo físico o químico.

**BIOMAGNIFICACIÓN:** Proceso de bioacumulación de una sustancia tóxica en organismos al principio de la cadena trófica en bajas concentraciones y en mayor proporción a medida que se asciende en dicha cadena. Esto significa que las presas tienen menor concentración de sustancias tóxicas que el predador.

**BIOMASA:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**BIVALVOS:** Molusco acuático que tiene un cuerpo comprimido encerrado dentro de una concha articulada, como ostras, almejas, mejillones y vieiras.

**CADENA TRÓFICA:** Concepto que se aplica para definir las relaciones alimentarias que se establecen entre diferentes tipos de organismos.

**CARBONO ORGÁNICO TOTAL (TOC):** Es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como un indicador no específico de calidad del agua.

**COMUNIDAD ÍCTICA:** Hace referencia a las especies de peces presentes en una zona sin tener en cuenta su clasificación taxonómica.

**DEFLOCULANTES:** Diluyente utilizado para reducir la viscosidad o evitar la floculación, algunos ejemplos incluyen los polifosfatos, los lignosulfonatos y diversos polímeros sintéticos solubles en agua.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO:** Parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:** Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

**DIVERSIDAD FUNCIONAL:** La diversidad funcional es una medida de la diversidad de rasgos funcionales presentes en una comunidad con respecto a su presencia y/o abundancia.

**ECOLOCALIZACIÓN:** Método de percepción sensorial por el cual ciertos animales se orientan en sus ambientes, detectan obstáculos, se comunican entre sí y encuentran comida.

**EFLUENTE:** Fluido procedente de una instalación industrial

**EUTROFIZACIÓN:** Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser

compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas.

**FITOPLANCTON:** Conjunto de organismos acuáticos autótrofos del plancton, que tienen capacidad fotosintética y que viven dispersos en el agua, como ciertas algas microscópicas.

**FONDOS BLANDOS:** Son aquellos que presentan debido al hidrodinamismo cierto movimiento. Según la proporción de cada porción se clasifican en Bloques >25 cm, Cantos 5-2 cm, Gravas 2-0,5 cm, Arenas 5-0,5 mm, Fangos: 50-5 micras y Arcillas: < 5 micras.

**FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS:** Son organismos unicelulares que poseen una concha de carbonato cálcico que está constituida por cámaras interconectadas por poros llamados forámenes y que es la característica que les da su nombre. Son fundamentales en la red trófica de todos los mares del planeta y permiten desentrañar como eran los ecosistemas marítimos en el pasado.

**HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS:** Compuestos orgánicos no derivados del benceno formado por átomos de carbono e hidrógeno, forman cadenas abiertas o cerradas y pueden encontrarse unidos por enlaces simples, dobles o triples.

**HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS:** Compuestos orgánicos que se componen de anillos aromáticos simples, se encuentran en el petróleo, el carbón y en depósitos de alquitrán y también como productos de la utilización de combustibles.

**HISTORIA DE VIDA DE UNA ESPECIE:** Patrón de los sucesos de supervivencia y reproducción típicos de un miembro de una especie (básicamente, es su ciclo de vida).

**IRIDISCENCIA:** Fenómeno óptico caracterizado por la propiedad de ciertas superficies en las cuales el tono de la luz varía de acuerdo al ángulo desde el que se observa la superficie, como en las manchas de aceite.

**LISOSOMA:** Orgánulo celular constituido por una vesícula membranosa cargada de enzimas que participan en la digestión intracelular.

**LUGARES DE PERCHA:** Espacio o superficie sobre la cual las aves pueden posicionar sus patas como las ramas de un árbol o plataformas marítimas.

**MEJILLONES:** Molusco marino con la concha formada por dos valvas simétricas, casi triangulares y convexas, de color negro, que vive fijado a las rocas por el filamento bisal formando grandes colonias, y cuya carne es muy apreciada.

**MICRORELIEF:** Elevación muy pequeña sobre una superficie.

**MOLUSCOS:** Dicho de un metazoo: Que tiene simetría bilateral, no siempre perfecta, tegumentos blandos y cuerpo no segmentado en los adultos, que puede aparecer desnudo o recubierto por una concha, por ejemplo el caracol o la jibia.

**NECTON:** Conjunto de organismos que nadan activamente en áreas acuáticas dulces u océanos.

**NEMATODOS:** Son gusanos nematelmintos que disponen de un aparato digestivo en forma de conducto recto que ocupa toda la extensión de su cuerpo, estos organismos por lo general viven en el medio acuático, aunque también habitan la superficie.

**ORGANISMOS SÉSILES:** Organismo que no posee medio de auto-locomoción debido a la falta de un órgano que sirva como pie o soporte, son normalmente inmóviles o sedentarios.

**PECES DEMERSALES:** Aquellos que viven en o cerca del fondo llegando hasta profundidades de más o menos 500 metros. Estos peces, en general, presentan poco movimiento y se mantienen en contacto con el fondo, pero pueden efectuar movimientos migratorios según sus necesidades alimenticias o su ciclo de vida.

**PECES PELÁGICOS:** Son los que pasan su vida no dependiendo del fondo. Son de ordinario carnívoros, alimentándose entre dos aguas de otros peces

**PLANCTON:** Serie de organismos microscópicos que pueden ser de origen animal o vegetal, se hayan presentes flotando en aguas tanto saladas como dulces y son el alimento básico de especies superiores.

**PLATIJA:** Peces planos que tienen los dos ojos a un lado del cuerpo. El lado que queda expuesto mientras el pez yace de costado sobre los fondos marinos es el izquierdo. Su cuerpo es plano, con escamas en algunas especies y sin ellas en otras y sólo está coloreado en el costado expuesto.

**POLIUQUETO:** Clase de gusanos anélidos predominantemente marinos y unisexuales, de cuerpo cilíndrico con anillos provistos de numerosas cerdas llamadas quetas.

**REDUCCIÓN POR OXIDACIÓN:** Reacciones redox en las que intervienen compuestos orgánicos como reactivos.

**RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS:** Restos provenientes de oficinas, dormitorios y casino. Estos residuos, representan en su mayor parte basuras orgánicas, cartón, plástico, vidrio, papel y textiles. Los residuos de alimentos (residuos orgánicos), serán pasados a través de un triturador de residuos alimenticios hasta alcanzar un tamaño no superior a los 25 mm, y posteriormente descargados en el mar. Los demás residuos, previamente clasificados, compactados y empacados, serán transportados por las embarcaciones de apoyo hasta las instalaciones portuarias en tierra.

**RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES:** Corresponde a empaques de productos químicos, filtros de aire o aceite, chatarra, canecas, y otros desechos convencionales que se generen durante el desarrollo del proyecto. Serán almacenados temporalmente en recipientes o bolsas debidamente marcadas o codificadas, para ser transportados a tierra.

**RESIDUOS LÍQUIDOS DOMÉSTICOS:** Las aguas residuales domésticas contienen compuestos y nutrientes (orgánicos e inorgánicos) en suspensión o disueltos en agua, así como bajas concentraciones de gases y cargas contaminantes de microorganismos patógenos, metales pesados y compuestos no

biodegradables; incluye aguas residuales grises generadas en cocinas, duchas, lavamanos y aguas de lavandería.

**RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES:** Se caracterizan por presentar niveles moderados de grasas y aceites, procedentes del lavado de equipos existentes y de la plataforma. Así mismo, se incluye las aguas lluvias que caigan sobre el buque durante el proyecto y que permanezcan en la plataforma, que tengan algún contacto químico que haga necesario un tratamiento especial antes de su vertimiento.

**RODABALLO:** pez liso europeo de aguas costeras que tiene grandes tubérculos óseos en el cuerpo y es apreciado como alimento.

**SIPUNCÚLIDOS:** Animales en forma de gusano con el cuerpo no segmentado. Normalmente no sobrepasan los 10 cm de largo y su característica más destacable es su boca, rodeada por un anillo de tentáculos retráctiles.

**SUSTANCIAS TRAZA:** Compuesto químico que es necesario en cantidades ínfimas para el crecimiento, desarrollo y fisiología de un organismo. Su ingreso inadecuado deteriora las funciones de los tejidos de los organismos y los afecta.

**TANQUES MESOCOSMOS:** sistema artificial capaz de contener y aislar a las comunidades de organismos en su ambiente con el propósito de someterlas a experimentación.

**TAXON:** Cada una de las subdivisiones de la clasificación biológica, desde la especie, que se toma como unidad, hasta el filo o tipo de organización.

**TEJIDO SOMÁTICO:** Corresponde a la mayoría de los tejidos en un organismo multicelular. Las células en estos tejidos no contribuyen a la producción de gametos y por lo tanto las mutaciones en estos tejidos no son heredables. En los seres humanos, muchos tejidos somáticos contienen células que se dividen o son capaces de dividirse y, por tanto, son capaces de renovación, reparación y, a veces, regeneración.

**TIGMOTACTISMO:** Atracción por la presencia de una estructura física, por ejemplo la unidad de perforación en medio del mar que genera un hábitat temporal para algunas especies ícticas que se concentran a la sombra, buscando refugio y alimento.

**TURBIDEZ:** Medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez.

**VIEIRAS:** Nombre común de diversos moluscos bivalvos cuya concha, llamada venera, tiene la valva izquierda convexa y la izquierda plana, con un número de acanaladuras que oscila entre 14 y 17.

**ZOOPLANCTON:** Conjunto de organismos exclusivamente animales que forman parte del plancton.