

ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE RIESGO CON POTENCIAL DE GENERAR
IMPACTOS AMBIENTALES EN OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL
CARIBE COLOMBIANO

LEANDRO ALBERTO RODRÍGUEZ PÁEZ
GERMAN ANDRÉS FLÓREZ BLANCO

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

2020

ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE RIESGO CON POTENCIAL DE GENERAR
IMPACTOS AMBIENTALES EN OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL
CARIBE COLOMBIANO

LEANDRO ALBERTO RODRÍGUEZ PÁEZ

GERMAN ANDRÉS FLÓREZ BLANCO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
de Petróleos

Director

Harving Díaz Consuegra

Ingeniero de Petróleos

Especialista en Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIAS

A Dios por ser el guía de mi vida, a mi Papá Julio Rodríguez por ser el motor de mi vida, por brindarme tu apoyo incondicional y aunque hoy no estés acá para ver esta etapa de mi vida terminada, sé que siempre vas a estar a mi lado en cada paso que doy, a mi Mamá Mariela Páez por tanto esfuerzo durante estos años y por todos los consejos, amor y cariño que día tras día me regalas, a mis hermanos por su apoyo incondicional durante estos años.

A mis amigos y compañeros que también me han ayudado a ser quien soy hoy y por tantos momentos compartidos que han creado tantos recuerdos inolvidables

Leandro Alberto Rodríguez Páez

A Dios primeramente por guiarme cada día en su propósito, a mis padres y mi hermano, por apoyarme y motivarme siempre a lo largo de este camino, por todo su esfuerzo y dedicación, sin ellos este sueño no sería posible.

Gracias a mis amigos y compañeros por los momentos y experiencias vividas a lo largo de mi vida universitaria.

German Andrés Flórez Blanco

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de tesis Ing. Harving Díaz Consuegra por todo su apoyo, dedicación, orientación y asesoramiento vitales para culminación de este proyecto de investigación.

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de ingeniería de petróleos por entregarnos su conocimiento y poner a disposición las herramientas para lograr nuestros objetivos académicos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2.1. OBJETIVOS	12
2.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2.2. METODOLOGÍA.....	13
2.2.1. Búsqueda de información.....	13
2.2.2. Análisis de información.	14
3. MARCO DE REFERENCIA.....	15
3.1. ANTECEDENTES	15
3.1.1. Campo Chuchupa	15
3.1.2. Nuevos descubrimientos	16
3.2. MARCO TEÓRICO.....	18
3.2.1. Clasificación de la columna de agua según su profundidad	18
3.2.2. Tipos de plataformas y unidades de perforación y explotación costa afuera.....	19
3.2.3. Análisis de riesgos ambientales	25
3.3. MARCO LEGAL	26
4. INVESTIGACIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A OPERACIONES COSTA AFUERA GENERADOS POR CONDICIONES CLIMÁTICAS Y GEOLÓGICAS	28
4.1. Identificación de factores de riesgo climáticos, oceanográficos y geológicos presentes en las operaciones costa afuera.	28
4.1.1. Factores de riesgo climáticos.....	28
4.1.2. Factores de riesgo oceanográficos	34
4.1.3. Factores de riesgo geológicos	37

4.2. Identificación de riesgos en las operaciones costa afuera originados por condiciones climáticas y geológicas.....	42
5. RIESGOS QUE PUEDEN GENERAR IMPACTOS AMBIENTALES EN OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO	47
5.1. Comportamiento climático, oceanográfico y geológico presente en el mar caribe colombiano	47
5.1.1. Contexto climatológico	48
5.1.2. Contexto oceanográfico	52
5.1.3. Contexto geológico.....	56
5.2. Identificación de escenarios de riesgo en las operaciones costa afuera originados por condiciones climáticas y geológicas del mar Caribe colombiano.....	64
5.3. Sumario de frecuencia y tipos de accidentes	66
6. EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	67
6.1. Matriz RAM (Risk Assessment Matrix)	67
6.1.1. Probabilidad de que ocurran los escenarios de riesgo.....	67
6.1.2. Nivel de vulnerabilidad	68
6.1.3. Matriz de evaluación de riesgos generados por las condiciones climáticas y geológicas del mar caribe colombiano	69
6.2. Análisis De riesgos	73
7. CONCLUSIONES.....	74
8. RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 - Diagrama de la metodología a seguir según el cumplimiento de objetivos	14
Fig. 2 - Ubicación del campo Chuchupa en la subcuenca de la baja Guajira	16
Fig. 3 - Nuevos descubrimientos de gas en el mar Caribe colombiano	17
Fig. 4 - Plataformas marinas tipo sumergible	19
Fig. 5 – Plataforma marina tipo “Jack-up” o auto elevable	20
Fig. 6 – Plataforma marina tipo semisumergible	22
Fig. 7 – Buque de perforación	23
Fig. 8 – Plataforma marina tipo TLP.....	24
Fig. 9 – Representación del vector viento	30
Fig. 10 – Características de una ola ideal (Función seno)	35
Fig. 11 – Efecto de las corrientes marinas en una plataforma.....	36
Fig. 12 – Mecanismos de formación de volcanes de lodo.....	42
Fig. 13 – Ciclo anual de la velocidad media del viento sobre la cuenca Colombia.	48
Fig. 14 – Trayectoria y clasificación del Huracán Matthew durante su paso por el Mar Caribe.....	51
Fig. 15 – Altura del oleaje durante un año en la cuenca Colombia.....	53
Fig. 16 – Sistema general de corrientes marinas superficiales en el Caribe.....	55
Fig. 17 – Mapa geomorfológico del mar caribe	56
Fig. 18 – Caracterización geomorfológica del sector sur del mar Caribe colombiano frente a la sierra nevada de Santa Marta	58
Fig. 19 - Principales dominios geomorfológicos y sistemas de fallas	61
Fig. 20 – Localización de volcanes de lodo frentes a las costas del departamento de Bolívar	62
Fig. 21 – Presencia de hidratos en América	63
Fig. 22 – Frecuencia y tipos de accidentes a nivel global	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 – Clasificación de los huracanes según la escala Saffir - Simpson.....	33
Tabla 2 – Identificación de escenarios de riesgo según hallazgos	43
Tabla 3 – Identificación de escenarios de riesgos en el mar Caribe colombiano	64
Tabla 4 – Nivel de probabilidad de que ocurran los escenarios de riesgo	67
Tabla 5 – Nivel de vulnerabilidad al ocurrir los escenarios de riesgo	68
Tabla 6 – Niveles de riesgo según calificación de probabilidad e intensidad.....	69
Tabla 7 – Evaluación de riesgos.....	70

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE RIESGO CON POTENCIAL DE GENERAR IMPACTOS AMBIENTALES EN OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO*

AUTORES: Leandro Alberto Rodríguez Páez, German Andrés Flórez Blanco.**

PALABRAS CLAVE: Medio ambiente, clima, oceanografía, geomorfología, impacto ambiental, riesgos, accidente, derrame, operaciones costa afuera, matriz de riesgo.

DESCRIPCIÓN: En las operaciones de la industria del petróleo y gas son muchos los factores de riesgo presentes ya sean por causas internas de la operación o por causas externas que son imposibles de prevenir y controlar. Estos factores son un componente importante cuando las operaciones se trasladan al entorno costa afuera, por esta razón es conveniente realizar un estudio de los riesgos presentes en la locación; teniendo en cuenta todos los factores que están presentes (climatología, oceanografía y geología) por muy poca probabilidad que tengan los escenarios de riesgo de ocurrir.

En el presente trabajo de investigación se realizó una revisión bibliográfica para determinar los principales factores de riesgo que están presentes en las operaciones costa afuera alrededor del mundo para clasificarlos y definirlos. Además, se realizó una caracterización del entorno del Caribe Colombiano donde se están llevando a cabo y se realizarán futuras operaciones. Finalmente se realizó una matriz de evaluación de riesgo, donde de forma cualitativa se le dio un valor de probabilidad de ocurrencia y vulnerabilidad ambiental a cada uno de los riesgos identificados. Como resultado se identificó que el escenario de riesgo que tiene mayor probabilidad de ocurrir y puede causar una alta afectación ambiental, es el de un “blowout” debido a una sobrepresión.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Harving Díaz Consuegra, Esp. En Ingeniería Ambiental

ABSTRACT

TITLE: RISK SCENARIOS ANALYSIS WITH THE POTENTIAL TO GENERATE ENVIRONMENTAL IMPACTS IN OFFSHORE OPERATIONS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN SEA*

AUTHORS: Leandro Alberto Rodríguez Páez, German Andrés Flórez Blanco. **

KEYWORDS: Environment, wheather, oceanography, geomorfology, environmental impact, risk, accident, spill, offshore operations, risk assessment matrix.

DESCRIPTION: In the Oil and gas (O&G) industry operations, there are many present risk, whether due to internal factors of the operation or external causes that are impossible to prevent and control. These factors increase and become an important component when operations move to the offshore environment, for this reason it is convenient to carry out a study of the risks present in the location; taking into account all the factors that will be present there (climatology, oceanography and geology) no matter how unlikely the risk scenarios are to occur.

In this research work, a bibliographic review was conducted to determine the main, or most common, risk factors that are present in offshore operations around the world; based on the results, these factors were classified and defined. In addition, an environmental characterization of the Colombian Caribbean sea was performed where future operations are being developed and will be develop. Finally, a risk assessment matrix was made, where a qualitative value of probability of occurrence and environmental vulnerability was given to each of the identified risks. As a result, it was identified that the risk scenario, with a high environmental impact and the highest probability of occurrence, is that of a “blowout” due to overpressure.

* Degree project

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

1. INTRODUCCIÓN

El gas natural ha cobrado cada vez más protagonismo dentro de la canasta energética mundial, debido principalmente a que sus emisiones de dióxido de carbono, gases de efecto invernadero y óxidos de nitrógeno son menores al compararlo con otros combustibles del mismo origen como son el carbón y el petróleo. Debido a esto, la industria O&G (oil and gas) en Colombia ha centrado su atención en la exploración y producción de yacimientos comerciales de gas en todo el territorio nacional, con lo que se calcula que en unos 6 u 8 años estas reservas permitirían al país tener fuentes adicionales para atender el consumo nacional e impulsar el crecimiento energético y económico.

Recientemente, el protagonismo está centrado en las reservas de gas natural bajo el lecho marino del Caribe colombiano, donde hay un gran interés por parte de diferentes compañías con el fin de desarrollar esta área, lo cual involucra diversos retos técnicos y de ingeniería debido al comportamiento geo-climático de la zona y a la poca información disponible de estos bloques que se encuentran prácticamente inexplorados.

Debido al interés suscitado por este sector en el país, es de suma importancia estudiar y conocer la zona en donde se van a realizar las operaciones, debido a que la planeación de la operación depende de las condiciones ambientales que dominan en ella. Ahora bien, un proyecto costa afuera estará expuesto a muchos de estos factores a la vez, y se hace necesario considerar las interacciones de los riesgos generados por las condiciones climáticas y geológicas, con las actividades de operación.

2. GENERALIDADES

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar y analizar escenarios de riesgo con potencial de generar impactos ambientales en operaciones costa afuera en el caribe colombiano.

2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar riesgos asociados a operaciones costa afuera generados por condiciones climáticas y geológicas con base en información técnica y científica.
- Analizar, clasificar y contrastar los riesgos que puedan generar impactos ambientales en operaciones costa afuera en el Caribe colombiano.
- Evaluar la probabilidad de que se presente eventos que generen un impacto ambiental, teniendo en cuenta el entorno del caribe colombiano y las características de la operación.

2.2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación, la búsqueda de fuentes bibliográficas se realizó gracias a la plataforma web de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, tomando como apoyo las bases de datos que permiten la consulta de libros, artículos técnicos, revistas, normas internacionales, entre otros. Entre las bases de datos consultadas se encuentran: Scopus, Springer, Science Direct, Web of science. Además, para complementar nuestra búsqueda de información, se utilizó la biblioteca digital OnePetro de SPE, búsquedas en Google Scholar y de la plataforma VITAL de la agencia nacional de licencias ambientales - ANLA.

2.2.1. Búsqueda de información. Para agilizar la búsqueda de la información, se hizo uso de los filtros disponibles en cada base de datos para hacerla más detallada. Se realizaron 2 búsquedas, correspondiente a los objetivos específicos 1 y 2.

En la búsqueda realizada para determinar los riesgos asociados a operaciones costa afuera generados por las condiciones climáticas y geológicas, se hizo uso de los siguientes términos claves: risk, accident, impact, Hazard, contingency, pollution, contamination, spill, offshore, oil & gas, petroleum, hydrocarbon, Flowback, discharge, leak, leaking, environment, platform. Finalmente, en la búsqueda realizada para determinar el comportamiento climático, oceanográfico y geológico del mar caribe colombiano se hizo uso de los siguientes términos claves: meteorology, oceanography, weather, caribbean sea, Colombia, geomorphology, geology.

De los artículos, libros, revistas, e información obtenida relacionada con la búsqueda se seleccionaron aquellos que estuviesen acorde a la temática de nuestra investigación para finalmente ser analizada.

2.2.2. Análisis de información. Finalmente, se recopiló toda la información de la búsqueda selectiva y sistemática de información técnica y científica disponible, determinando la de mayor relevancia para la elaboración del documento final.

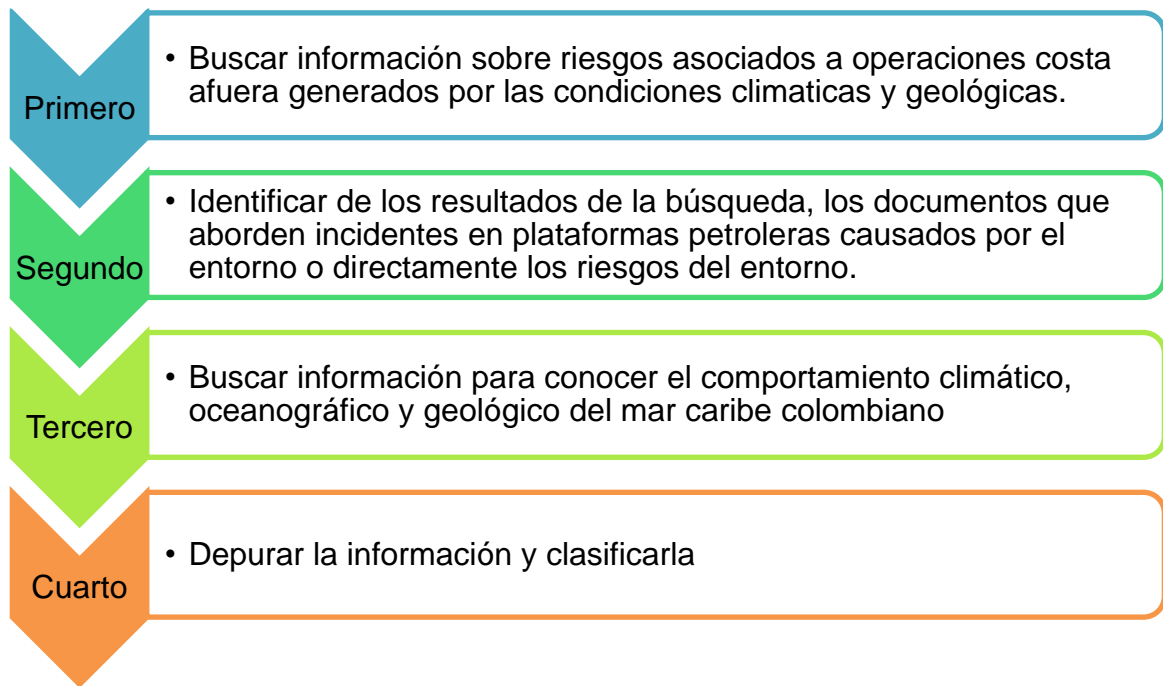


Fig. 1 - Diagrama de la metodología a seguir según el cumplimiento de objetivos

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. ANTECEDENTES

La industria de los hidrocarburos es una industria dinámica y cada vez busca la manera de ampliar sus horizontes: Cuando en 1897 se comenzó la perforación del primer pozo costa afuera, realizado sobre un muelle en las costas de California en Estados Unidos, se dio el primer paso para ir mucho más allá. De realizar sus operaciones de exploración, perforación, producción, refinamiento y transporte en tierra firme, expandió sus operaciones para explotar las riquezas energéticas del fondo marino. Luego, se dejaron atrás los muelles, para construir plataformas y embarcaciones para hacer uso de recursos energéticos aún más profundos. En la actualidad, se realizan perforaciones de pozos como el Stones-3 en el Golfo de México de 2.286 metros de columna de agua y a una profundidad total de 8.960 metros bajo el lecho marino.

En el caso colombiano, ha surgido un gran interés en el sector Caribe, debido a su potencial de reservas de gas. En los últimos años se ha invertido en rondas de exploración de estos bloques con resultados prometedores.

3.1.1. Campo Chuchupa. Fue descubierto en 1973, con un área productiva de aproximadamente 96 Km², arenas con porosidad del 20% y un espesor promedio productivo de 140 ft.

En 1979 se construyó la plataforma Chuchupa A y entró en producción con 5 pozos y en 1997 se desarrolló la plataforma Chuchupa B. La producción del campo empezó a declinar en el año 2002 y, para aumentar su producción, en 2006 se perforaron 3 pozos horizontales en Chuchupa A. En 2007, se construye la línea de transferencia entre las plataformas Chuchupa A y Chuchupa B. En enero de 2014, la producción de gas llegó a 481.8 MMSCF/D y al siguiente año disminuyó a 424

MSCF/D, a finales de ese año terminó el proyecto GACE IV, que buscó incrementar el factor de recuperación hasta un 90%. (Giraldo & Rodríguez, 2017).¹

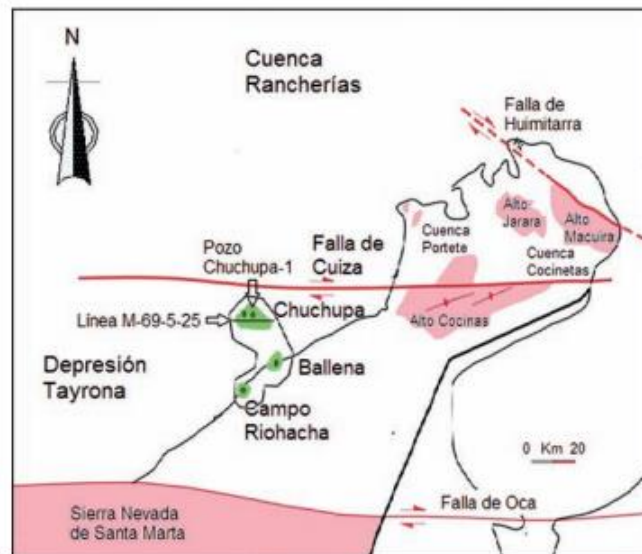


Fig. 2 - Ubicación del campo Chuchupa en la subcuenca de la baja Guajira

Fuente: CEDIEL, Mauricio; ALMANZA, Ovidio; MONTES, Luis. Análisis AVO en el yacimiento de alta impedancia del campo Chuchupa. Boletín de geología, 2012.

3.1.2. Nuevos descubrimientos. Hay muchos nuevos prospectos con gran potencial para la industria del gas en Colombia, como lo es el pozo Orca que comenzará su operación a partir del 2024 y aliviará el remanente de reservas.

El yacimiento está localizado en el bloque Tayrona (en la cuenca Guajira Offshore) a 40 km de la costa, fue descubierto en el 2014 y cuenta con una columna de agua de 674 m. El pozo tuvo una profundidad alcanzada de 4.240 m (13.910 ft) y según las pruebas de flujo, se confirmó presencia de gas natural a una profundidad de

¹ GIRALDO JARAMILLO, Camilo; RODRÍGUEZ GARCÍA, Daniela. Evaluación de formaciones para un descubrimiento de gas seco en el Caribe Colombiano, incorporando soluciones inversas, a partir de respuestas a modelos numéricos y analíticos. 2017.

aproximadamente 3657 m (12.000 ft) en areniscas de la edad del Oligoceno. A este descubrimiento también se le suman los pozos Purple Angel, Kronos (Bloque Fuerte Sur) y Gorgón (Bloque Purple Angel). Estos dos primeros confirmaron la extensión del yacimiento de gas descubierto en el año 2015. El pozo Purple Angel-1 alcanzó una profundidad de 4.795 m (incluyendo la columna de agua de 1.835 m) y confirmó intervalos con presencia de gas, cuya suma se estima entre 21–34 m de espesor (70-110 ft). Por otra parte, el Pozo exploratorio Gorgón-1, estableció un récord para la perforación costa afuera en Colombia, con la mayor columna de agua (2.316 m) en la historia de la perforación. Este pozo mostró presencia de gas en diferentes objetivos exploratorios, cuyos preliminares muestran intervalos netos gasíferos que suman entre 80-110 m (260-360 ft).

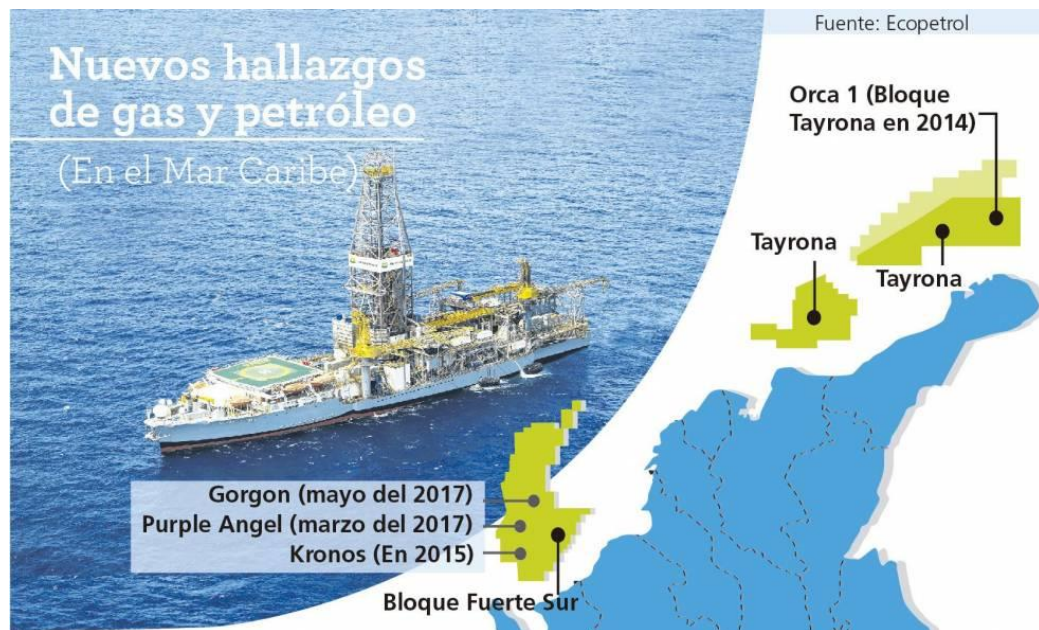


Fig. 3 - Nuevos descubrimientos de gas en el mar Caribe colombiano

Fuente: EL PAÍS (2020). Colombia cuenta con uno de los mayores potenciales en gas y petróleo en América Latina. Disponible en: <https://www.elpais.com.co/contenido/colombia-cuenta-con-uno-de-los-mayores-potenciales-en-gas-y-petroleo-en-america-latina.html>

3.2. MARCO TEÓRICO

Con el paso de los años se ha perfeccionado la tecnología para las explotaciones de los recursos hidrocarburíferos del lecho marino, el cual a medida que se va alejando de la costa y aumenta la columna de agua, se vuelven ambientes más hostiles y con mayores retos; lo que ha llevado a soluciones innovadoras como el completamiento submarino² y el uso del “riser”, el cual es una continuación de la tubería de completamiento hasta la plataforma de perforación con el fin de que los fluidos de perforación (lodos) retornen a la plataforma, evitando así la contaminación del lecho marino.

Es de importancia conocer que tan profundas son las aguas para intervenir y los tipos de plataformas con la finalidad de comprender mejor las operaciones de petróleo y gas en alta mar.

3.2.1. Clasificación de la columna de agua según su profundidad. La perforación y producción de pozos costa afuera es muy similar al proceso aplicado en tierra, con algunas modificaciones. Sus diferencias radican en la plataforma de perforación y los métodos modificados que se usan en una situación más compleja.³ Estos van a depender de la columna de agua en la que tendrán que realizar sus operaciones y que se clasifica según su profundidad:

- Aguas someras: Hace referencia a columnas de agua menor a los 500 metros (1640 ft).
- Aguas profundas: Hace referencia a columnas de agua que está en el rango de los 500 a los 1500 metros (4921 ft).
- Aguas ultra profundas: Hace referencia a columnas de agua mayor a los 1500 metros.

² GUIZA ZAMBRANO, Andrith Fabian; RIOS BERNAL, María Kamila. Análisis De Experiencias Recientes En El Tratamiento Y disposición De Residuos Industriales De perforación De Las Operaciones Costa Afuera En El Caribe Colombiano. 2018.

³ Ibid. p.32

3.2.2. Tipos de plataformas y unidades de perforación y explotación costa afuera. Las plataformas son aquellas estructuras ubicadas sobre una masa de agua, diseñadas con el fin de instalar maquinas, equipos y personal especializado sobre ella para extraer petróleo y/o gas del suelo marino. Estas se clasifican según su función: perforación, producción, enlace, compresión y habitacionales, donde la más comunes son las de perforación y producción que cuentan con procesos básicos de separación y luego se envía a las plantas de producción en tierra. Las plataformas también se clasifican según su soporte y estabilidad sobre el agua: sujetas al fondo y flotantes.

3.2.2.1. Unidades sujetas al fondo. Este tipo de plataformas tienen contacto directo con el suelo marino y transmiten su peso a este.

- **Sumergibles.** Este tipo de unidades se instalan sobre columnas que se descansan en el fondo marino. Maniobrar estas plataformas no es complicado debido a que son muy estables; son apropiadas cuando desde un mismo punto se pueden efectuar las operaciones en diferentes direcciones, de tal manera que no se tenga la necesidad de cambiarlas de sitio con frecuencia.⁴



Fig. 4 - Plataformas marinas tipo sumergible

⁴ GIL VILLAMER, Pedro Luis, et al. Plataformas petrolíferas y procesos para la extracción del petróleo. 2015.

Fuente: El País. (2020). El Gobierno permite a Repsol explotar 10 años más la plataforma Casablanca. Disponible en: https://elpais.com/economia/2018/12/28/actualidad/1546015760_592876.html

En estas unidades el aire, las olas o las corrientes tienen poco efecto gracias a que está apoyada en el fondo marino y debido a esto se usan en columnas de agua inferiores de 50 metros, ideal para ríos, lagos, bahías o en zonas cercanas a la costa.⁵

- **“Jack-up” o plataforma autoelevable.** Esta es una unidad que tiene la capacidad de trasladarse de ubicación, ya sea por un sistema de autopropulsión o con remolcadores. Así, esta unidad es muy usada para perforación como función principal.

Cuando la unidad se encuentra posicionada en la ubicación indicada, las piernas descienden hasta el fondo marino y son asentadas. Estas, pueden ser de sección circular o triangular y tienen en su extremo inferior sistema de zapatas con las cuales ayudan a asegurar la unidad al fondo marino, pueden tener desde 3 a 14 piernas dependiendo del oleaje y las corrientes.⁶



Fig. 5 – Plataforma marina tipo “Jack-up” o auto elevable

⁵ Ibid. p. 15.

⁶ Ibid. p. 24

Fuente: Offshore: Imágenes, fotos de stock y vectores | Shutterstock. (2020).
Disponibile en: <https://www.shutterstock.com/es/search/offshore+offshore?page=1>

Luego de estar asegurados en el fondo marino, la cubierta es elevada más allá del nivel agua con el fin de tener la plataforma de perforación estable. Esta es la que soporta todo el peso del equipo y cuenta con un voladizo móvil donde se ubica la torre de perforación que permite el acercamiento de esta unidad a plataformas fijas. Las plataformas más grandes de este tipo pueden perforar con una columna de agua de 120 m y pozos de más de 10000 ft. Se clasifican en 2 tipos: autoelevables con piernas de apoyo para operar en cualquier área, aunque lo normal es usar en fondos firmes o irregulares y autoelevables con plancha de apoyo diseñada para zonas con cizallamiento en la tierra.⁷

3.2.2.2. Flotantes. En este tipo de plataformas la estructura no tiene contacto directo con el suelo marino, solamente las piernas o ancla están en contacto con este. Toda la carga esta soportada por unidades de flotación.

- **Semisumergibles.** Este tipo de unidades cuenta con 2 pontones flotantes en donde descansa toda la estructura. Los pontones son prismas de acero, largos y huecos, los cuales se encuentran sumergidos para evitar la resonancia con el oleaje. Para hacer el traslado de la unidad, se retira agua de lastre de los pontones para elevar la flotabilidad y que se pueda mover con mayor facilidad. Además, la mayoría de las unidades tienen propulsores ubicados en los pontones.⁸

⁷ Ibid. p.25

⁸ Ibid. p. 27



Fig. 6 – Plataforma marina tipo semisumergible

Fuente: Revista Ingeniería Naval. (2020). Brasil dispone de la nueva plataforma semisumergible OOS Tiradentes | Disponible en: <https://sectormaritimo.es/plataforma-semisumergible-oos-tiradentes>

Estas unidades solo se encuentran en contacto al suelo marino mediante un sistema de anclajes con 8 a 12 líneas de cables y/o cadenas, con su respectiva ancla que mantiene en su sitio y estable a la plataforma, esto es ideal para tener la plataforma de perforación más estable a comparación de un buque de perforación. A pesar de esto, sufre la acción de las olas, corrientes y vientos los que puede generar daños en los equipos y a la estructura. Además, se cuenta con un sistema de posicionamiento dinámico necesario por las grandes columnas de agua (hasta 2500 m) sobre la que se ubica la plataforma y ayuda a mantener la posición.⁹

⁹ Ibid. p. 39

- **Buques de perforación.** Este tipo de unidades son la mejor opción cuando se requiere perforar pozos en zonas remotas, ya que se pueden mover a velocidades altas con bajo consumo de combustible y la forma y capacidad de la cubierta le permite cargar gran cantidad de equipos y suministros, por lo que no es necesario un reabastecimiento frecuente. La torre de perforación se ubica en el centro y mediante una apertura en el casco se corre la tubería. Algunos trabajan sobre una columna de agua de 300 a 900 m, mientras los más grandes y modernos pueden llegar trabajar a mayores de 1000 m.¹⁰ Los buques cuentan con un sistema de anclas y un sistema de posicionamiento dinámico, pero están limitados por las alturas del oleaje y la velocidad del viento.



Fig. 7 – Buque de perforación

Fuente: Revista Ingeniería Naval. (2020). Retrieved 28 October 2020, Disponible en: <https://sectormaritimo.es/>

¹⁰Ibid.p.39

- **Plataformas con piernas tensionadas (TLP).** Este tipo de estructura es ideal para aguas más profundas desde los 900 m. Están sujetas al fondo marino mediante cables de ancla y se mantiene en la superficie mediante columnas flotantes, generando gran estabilidad frente condiciones adversas. Además, se pueden usar para perforar, recuperar y producir pozos de forma simultánea.¹¹

Son similares a las unidades Semisumergibles diferenciadas solamente por el sistema de anclaje que en las TLP están completamente verticales y en tensión, generando equilibrio vertical en la plataforma que se logra al mantener por el exceso de flotación del casco. Los cables tensionados son anclados al fondo mediante una estructura de acero estructural cimentado mediante pilotes.¹²

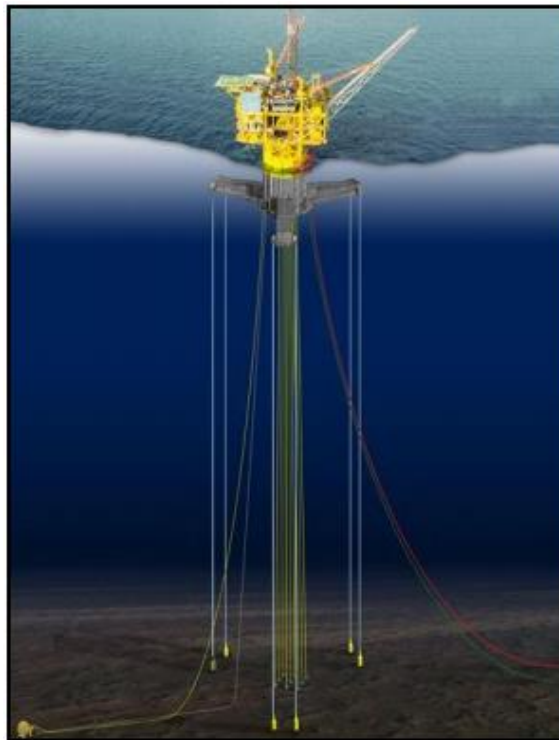


Fig. 8 – Plataforma marina tipo TLP

¹¹ Ibid. p.32

¹² Ibid. p.32

Fuente: GIL VILLAMER, Pedro Luis, et al. Plataformas petrolíferas y procesos para la extracción del petróleo. 2015.

3.2.3. Análisis de riesgos ambientales. El análisis de riesgo es el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento y la magnitud de sus efectos, con el fin de establecer el nivel de riesgo del proyecto. En el análisis de riesgo se determina cuáles son los factores de riesgo que potencialmente tendrían un mayor efecto sobre el proyecto ¹³. Para esto es necesaria la aplicación de metodologías con el fin de identificar peligros y evaluar riesgos de un proceso o sistema con el objetivo de verificar la existencia de sistemas de seguridad y barreras suficientes ante las posibles amenazas que se generarían ante la materialización de algún escenario de riesgo.

El riesgo es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

- La amenaza se puede definir como una condición peligrosa que puede ocasionar daños a un elemento de interés (daños a propiedades, pérdidas económicas, impactos ambientales, etc). La amenaza se refiere a la condición física con el potencial de causar consecuencias no deseables sobre el ambiente.
- La vulnerabilidad es el grado de exposición y susceptibilidad de un sistema de ser afectado de forma negativa ante una amenaza. ¹⁴

Los procesos de análisis de riesgos pueden ser divididos en metodologías cualitativas, cuantitativas y semicuantitativas, las primeras buscan identificar el

¹³ NIMBUS (2020). Gestión de riesgos / Análisis y cuantificación. Disponible en: <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap7.pdf>

¹⁴COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Riesgo, Amenaza, Exposición y vulnerabilidad (2019). Disponible en: <https://n9.cl/v5ai>

riesgo mediante escalas que resumen de manera visual e intuitiva las dimensiones relativas de cada riesgo, mientras las segundas tratan de cuantificar los riesgos de acuerdo con su probabilidad e impacto y los semicuantitativos son una combinación entre ambos procesos.

Hay diferentes metodologías para el análisis de riesgos, como son los métodos cualitativos, cuantitativos y semicuantitativos.

Los métodos cualitativos son utilizados cuando el nivel del riesgo es bajo y es el método más utilizado para la toma de decisiones. Son métodos descriptivos y sirven como base para futuros análisis cuantitativos. Los métodos cuantitativos son los que permiten asignar valores de ocurrencia a los diferentes riesgos identificados. Estos métodos incluyen un análisis de probabilidad, análisis de consecuencias y una simulación computacional.¹⁵

3.3. MARCO LEGAL

El marco legal colombiano en materia de medio ambiente está compuesto por normas constitucionales; convenios, protocolos y acuerdos de carácter internacional ratificados por el país; documentos de política, leyes, decretos y resoluciones de alcance nacional, acuerdos y resoluciones de carácter regional; ordenanzas y decretos ejecutivos de alcance departamental y acuerdos y resoluciones ejecutivas de alcance municipal o distrital. A continuación, se hace una lista de la principal normativa para operaciones petroleras costa afuera.

- Ley 12 1981 Por medio del cual se aprueba la "Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques" MARPOL 73-78 dada en Londres el 2 de noviembre de 1973.
- Decreto 1875 1979 Normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones

¹⁵ NIMBUS. Op. Cit., p. 25

- Ley 1523 2012 Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 321 1999 Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.
- Decreto 3930 2010 Artículo 35. Plan de Contingencia para el Manejo de Derrames de Hidrocarburos o Sustancias Nocivas. Los usuarios de exploren, exploten, manufacturen, refinan, transformen, procesen, transporten o almacenes hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia y control de derrames, el cual deberá contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente.
- Decreto 2041 de 2014 art. 8, Competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) otorgará o negará de manera privativa la licencia ambiental para los siguientes proyectos, obras o actividades: sector hidrocarburos, sector minero, sector eléctrico, los proyectos para la generación de energía nuclear, sector marítimo y portuario, la construcción y operación de aeropuertos internacionales y de nuevas pistas en los mismos, ejecución de obras públicas, La construcción y operación de distritos de riego y/o de drenaje con coberturas superiores a 20.000 hectáreas, Pesticidas.
- Decreto 1076 de 2015, Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

4. INVESTIGACIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A OPERACIONES COSTA AFUERA GENERADOS POR CONDICIONES CLIMÁTICAS Y GEOLÓGICAS

En esta sección, con base en la bibliografía consultada y los criterios para la selección de la información, se mencionan los riesgos presentes en las operaciones de exploración y/o producción costa afuera.

4.1. Identificación de factores de riesgo climáticos, oceanográficos y geológicos presentes en las operaciones costa afuera.

Con base en la bibliografía consultada, se identificaron diferentes factores de riesgo presentes en las operaciones costa afuera. Estos factores de riesgo pueden generar escenarios que pueden poner en peligro la operación y ocasionar accidentes con consecuencias tanto ambientales como humanas.

4.1.1. Factores de riesgo climáticos. Son generados por las diferentes condiciones meteorológicas del entorno de operación y que puede causar las condiciones para causar un evento donde la vida y el medio ambiente se vean afectados.

4.1.1.1. Vientos fuertes. En meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto de forma horizontal como de forma vertical. Los movimientos verticales del aire caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, como la formación de nubes de tormenta. Es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la tierra y de la atmósfera. Se denomina "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal.¹⁶

¹⁶ NIMBUS WEATHER SERVICES. El viento. [En línea]. [marzo 2020]. Disponible en: <http://nimbus.com.uy/aprendiendo.html>

Cuando la presión del aire en dos zonas es distinta, éste se mueve del sitio de mayor presión al de menor presión y su fuerza aumenta proporcionalmente al gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis. En superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad.

- Dirección del viento

Está definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa de los vientos dividida en 360°. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido del reloj. En esta, 0 grados corresponde al Norte, 90 al Este, 180 al Sur, 270 al Oeste y 360 grados nuevamente al Norte.¹⁷

- Velocidad del viento

Es un vector, donde la longitud representa la velocidad del viento. En el caso de las flechas con barbas, la velocidad del viento se representa teniendo en cuenta la escala gráfica siguiente. La barba de menor longitud equivale a 5 nudos, la de mayor longitud 10 nudos y el triángulo 50 nudos; si queremos representar 70 nudos será un triángulo con dos barbas grandes. Las velocidades inferiores a 5 nudos se representan con flechas sin barbas.¹⁸

¹⁷ Ibid p. 12

¹⁸ Ibid p. 13

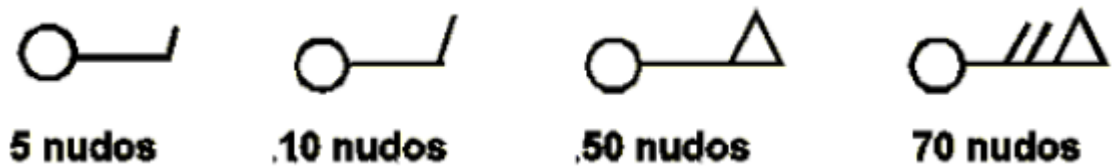


Fig. 9 – Representación del vector viento

Fuente: Nimbus Weather Services, El viento. (2020). Disponible en: <http://nimbus.com.uy/aprendiendo.html>

Los fuertes vientos representan un gran riesgo para las operaciones costa afuera, ya que generan desestabilización de la plataforma y otras unidades de apoyo como aeronaves y embarcaciones. Este tipo de eventos puede traer consecuencias, las cuales pueden ser menores como suspensión de las operaciones o accidentes catastróficos como el vuelco de la estructura o colisiones, teniendo como consecuencia derrames de fluidos contaminantes, incendios o explosiones, generando impactos ambientales.

En octubre de 2007, un frente frío se movió a lo largo de la bahía de Campeche en el golfo México, creando vientos con velocidades de hasta 130 km/h y olas de 8 metros. Estas condiciones operacionales provocaron oscilaciones en la plataforma Usumacinta, resultando en una colisión de la viga de soporte con el tope de la válvula del árbol de producción de la plataforma Kab-101, causando una fuga de gas y aceite. Generando posteriormente una explosión causando así la pérdida total de la unidad.¹⁹

¹⁹ HANLON, Chris. The Usumacinta Disaster. *Proto-Type*, 2013, vol. 1.

4.1.1.2. Niebla y neblina. Es un fenómeno meteorológico, donde pequeñas gotas de agua o cristales de hielo se encuentran en suspensión en la atmósfera generando así una reducción en la visibilidad horizontal. Este fenómeno se define como neblina cuando esta genera una visibilidad entre 1000 a 5000 m y niebla cuando la visibilidad es menor a 1000 metros. Se pueden encontrar 2 tipos. ²⁰

- La niebla de radiación

Se genera sobre la tierra cuando la temperatura empieza a bajar durante la noche y la humedad de una corriente de aire caliente comienza a condensarse. Este proceso no puede generarse sobre el mar ya que este no varía su temperatura durante el día, pero la niebla de radiación puede desplazarse hacia el mar y causar fenómenos de baja visibilidad durante el día.²¹

- La niebla de advección

La niebla de advección o niebla marina es un fenómeno meteorológico que se forma sobre el agua cuando una corriente de aire cálido (el aire cálido contiene mayor cantidad de partículas de agua a comparación con el aire frío) circula sobre aguas más frías, generando así un fenómeno de condensación del agua presente en el aire. Este fenómeno es común que ocurra en el océano Pacífico, el océano Atlántico, el golfo de México, el mar del Norte, entre otros. ²²

Este tipo de niebla puede abarcar grandes extensiones superficiales disminuyendo la visibilidad, dificultando así las labores de navegación. Los vientos fuertes, a menudo evitan la formación de esta, levantando la niebla y creando nubes.

²⁰ DTN. (2020). What causes sea fog? Disponible en: <https://www.dtn.com/what-causes-sea-fog/>

²¹ WEATHER.GOV. (2020). Fog over water Disponible en: <https://www.weather.gov/safety/fog-water>

²² Ibid. p.1

Bajo condiciones de baja visibilidad, los errores operacionales se vuelven más frecuentes, esto puede producir colisiones entre las diferentes embarcaciones presentes en el lugar y dificultar las operaciones de búsqueda y rescate. Solamente en un caso, se presentó una colisión de una embarcación de apoyo contra una plataforma que fuera causada por neblina y en otros casos las embarcaciones chocaron con un casquete de hielo.²³

4.1.1.3. Hielo y nieve. En meteorología, la nieve es la precipitación de cristales de hielo. Los cristales de nieve adoptan formas geométricas con características fractales y se agrupan en copos. Normalmente tiene una estructura abierta y suave, excepto cuando es comprimida por la presión externa.

Las operaciones en regímenes de bajas temperaturas, las precipitaciones pueden ser abundantes, en forma de nieve, lluvia helada, aguanieve o granizo. También se pueden presentar icebergs que pueden colisionar contra las estructuras y/o embarcaciones y presentar fallas estructurales según la gravedad de la colisión. Además, la formación de hielo en la estructura puede acumular cargas y provocar algunos daños.

4.1.1.4. Tormentas ciclónicas. Los ciclones se desarrollan sobre extensas superficies de agua cálida y cuando las condiciones atmosféricas alrededor de una débil perturbación en la atmósfera son favorables. La formación de tormentas tropicales ciclónicas en el océano atlántico es muy común durante los meses de junio y noviembre, donde los vientos superficiales y el contraste de las propiedades térmicas entre el continente y el océano generan cambios en la dirección del viento ayudando así a su generación. Estas tormentas tienden a formarse cerca de las costas de África occidental o de las Guayanas en Sudamérica y normalmente

²³ NECCI, Amos, et al. Lessons learned from offshore oil and gas incidents in the Arctic and other ice-prone seas. Ocean Engineering, 2019.

tienden a desplazarse por el mar caribe hacia las costas del golfo de México y la costa este de Estados Unidos.²⁴

Este tipo de tormentas son categorizadas dependiendo la intensidad de sus vientos en: Depresión Tropical con vientos sostenidos inferiores a 62 km/h, Tormenta Tropical con vientos entre 63 y 117 km/h, en esta categoría al ciclón tropical se le asigna un nombre de persona en español, inglés o francés, en sucesión alfabética, alternando los nombres masculinos y femeninos. Finalmente, se denomina huracán cuando excede los 118 km/h alrededor de la parte central, llamada ojo del huracán. Los huracanes de acuerdo con su peligrosidad se clasifican según la escala Saffir-Simpson (**Tabla 1**) y conservan el nombre que le fue asignado cuando adquirió la categoría de tormenta tropical. Cuando el huracán decae, la tormenta es degradada invirtiendo esa misma clasificación.²⁵

Tabla 1 – Clasificación de los huracanes según la escala Saffir - Simpson

Tipo de tormenta		Velocidad del viento (km/h)
Depresión tropical		Inferior a 62
Tormenta tropical		62 – 118
Huracán	Categoría 1	119 – 153
	Categoría 2	154 – 177
	Categoría 3	178 – 209
	Categoría 4	210 – 250
	Categoría 5	Superior a 250

El año 2005 fue la temporada de huracanes más activa, entre los más destacados se encuentran el huracán Katrina y el huracán Rita. Estos dejaron daños en

²⁴ ALFARO, Eric J. Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de Climatología*, 2007,

²⁵ CIOH.ORG. (2020). Climatología Del Caribe-Oceanografía operacional. Disponible en: <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ClimatologiaCaribe6.php>

múltiples plataformas y facilidades. En uno de los casos, la plataforma ENSCO-7500 fue arrastrada 193 km al sur de la costa de Louisiana. ²⁶

El 14 de diciembre de 2004 la plataforma semisumergible Ocean Vanguard estaba realizando perforación exploratoria en el pozo 6406/3-1 en el mar de Noruega, cuando un huracán con vientos de 80-110 km/h y olas masivas de 10 m empujaron la plataforma unos 160 m (524 ft) de su ubicación, después de que los frenos de dos de las ocho líneas de amarre fallaran casi al mismo tiempo. En consecuencia, todo el sistema de anclaje falló. Fue por casualidad que el incidente no terminó en un desastre ambiental. ²⁷

4.1.2. Factores de riesgo oceanográficos. Son causados por el movimiento del océano, a través del oleaje y las corrientes marinas, las cuales pueden generar inestabilidad en el lecho marino, causando la erosión de algún punto de anclaje, y en la integridad de la estructura.

4.1.2.1. Oleaje fuerte. El oleaje es la fluctuación del nivel del mar. Son ondas que se propagan por la superficie entre el límite de la atmósfera y el océano. Este fenómeno es provocado por el viento, cuya fricción con la superficie del agua produce un cierto arrastre, dando lugar primero a la formación de ondulaciones en la superficie del agua.

Las ondulaciones del agua superficial proporcionan una superficie propicia para que el viento actúe y haga crecer las olas en forma de ondulaciones. Cuando las ondulaciones se vuelven lo suficientemente altas como para interactuar con el flujo de aire, el viento se vuelve turbulento justo por encima de la superficie del agua, y el viento transfiere energía a las olas. ²⁸

²⁶ CRUZ, Ana M.; KRAUSMANN, Elisabeth. Damage to offshore oil and gas facilities following hurricanes Katrina and Rita: An overview. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2008.

²⁷ NECCI. Op. Cit., p.33

²⁸ RANDOLPH, Mark; GOURVENEK, Susan. *Offshore geotechnical engineering*. CRC press, 2011.

propagaron rápidamente a los elevadores adyacentes llevando al hundimiento de la plataforma.³⁰

4.1.2.2. Corrientes marinas. Las corrientes son responsables del movimiento continuo del agua de los océanos del mundo y del flujo en un patrón complejo, tanto horizontal como vertical. Las corrientes oceánicas afectan el agua costera y el océano abierto, el agua superficial y el océano profundo. Cerca de la costa, las corrientes son impulsadas por mareas, vientos locales y olas y pueden afectar la profundidad entera de la columna de agua. Las corrientes en el océano abierto ocurren tanto cerca de la superficie impulsado por los vientos globales, como en el océano profundo impulsado por la circulación termohalina, lo que significa circulación impulsada por variaciones de densidad en el agua debido a la temperatura (termo) y salinidad (halina), como se muestra en la **fig. 11**. Las corrientes pueden tener un impacto significativo en las instalaciones en alta mar y, por lo tanto, son de interés para los ingenieros geotécnicos marinos.³¹

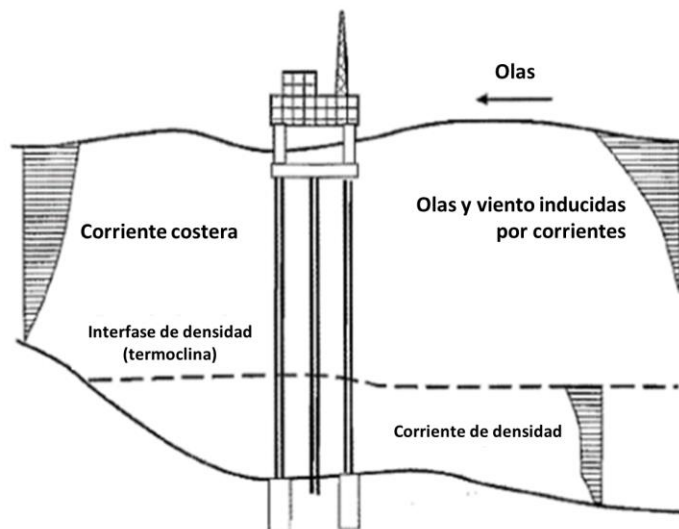


Fig. 11 – Efecto de las corrientes marinas en una plataforma

³⁰ DALEY, Jenine. Mumbai high north platform disaster. *Proto-Type*, 2013, vol. 1.

³¹ RANDOLPH, Mark; GOURVENEK, Susan. Op. Cit., p.36

Fuente: RANDOLPH, Mark; GOURVENEK, Susan. Offshore geotechnical engineering. CRC press, 2011.

4.1.2.3. Marea alta. El fenómeno del movimiento cíclico de elevación formado por la superficie del mar que cambia con el tiempo es llamado mareas. Las corrientes de marea corresponden al movimiento del agua en las olas de la marea, es decir, la corriente cíclica del agua de mar en la dirección horizontal que es simultánea con el ritmo de la marea bajo la acción de la fuerza de marea horizontal. Cuando aparece la marea, debe haber corriente de marea. Las mareas y las corrientes de marea son más obvias en las áreas de aguas costeras y poco profundas.

En septiembre de 1980, la plataforma autoelevable, Star 2; que fue diseñada para operar a profundidades de hasta 50 ft (15.2 m); se encontraba operando a 50 ft con un espacio de aire de 8-9 ft. Durante la noche, múltiples olas golpearon la plataforma, el espacio de aire no pudo ser aumentado debido a que el sistema de elevación se atascó. La plataforma finalmente se hundió cuando una gran ola la levantó del fondo marino.³²

4.1.3. Factores de riesgo geológicos. Son aquellos generados por las condiciones geológicas del terreno donde se realizará la operación. Estos riesgos geológicos, dependiendo del nivel de riesgo que representan se pueden dividir en dos: los que directamente pueden inducir operaciones peligrosas; y los que, indirectamente pueden provocar procesos peligrosos.³³

³² JOHNSON, Ralph E., et al. An investigation into the loss of the mobile offshore drilling unit Ocean Ranger. *Marine Technology and SNAME News*, 1985

³³ WU, Shiguo; WANG, Dawei; VÖLKER, David. Deep-sea geohazards in the South China Sea. *Journal of Ocean University of China*, 2018.

4.1.3.1. Sobrepresión. Los estratos sobre presurizados generalmente contienen gas (gas libre o hidratos) que, al ser alcanzados en las operaciones, se liberan violentamente y generan riesgos en las operaciones como deslizamientos, corrientes de turbidez o “blowouts” que es un flujo descontrolado de fluidos de formación provenientes de un pozo. Estos, ocasionan daños que van de pequeños accidentes o fugas hasta los grandes accidentes y derrames de la historia como “Deepwater horizon”.

El 20 de abril de 2010, al noreste del golfo de México en el campo “Deepwater horizon”, ocurrió una explosión dejando 11 muertos y posteriormente, el mayor derrame de hidrocarburos, donde este fluyó durante 87 días por un daño en el cabezal causando un impacto ambiental masivo. Esto ocurrió cuando se perforaba el pozo Macondo MC252 con una columna de agua de 1500 m (aguas profundas); cuando un influjo proveniente del yacimiento no se pudo mantener bajo control debido a una falla en el cabezal del pozo, rompió el “riser” provocando la posterior explosión y diversos daños.³⁴

4.1.3.2. Eventos sísmicos. En zonas con alta complejidad geológica donde ocurre choque de placas es altamente propensa a eventos sísmicos. Un sismo es un fenómeno de sacudida de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Lo más común es que se produzcan por la actividad de fallas geológicas y de forma repentina e instantánea, sacudiendo a la vez una gran área provocando serios daños, por esto es uno de los fenómenos naturales más destructivos. Estos se propagan en forma de ondas sísmicas por la corteza terrestre.³⁵

Existen diversos varios tipos de sismos:

³⁴ SMITH, R. H., et al. Oceanographic conditions in the Gulf of Mexico in July 2010, during the Deepwater Horizon oil spill. *Continental Shelf Research*, 2014.

³⁵ SÁNCHEZ, Francisco Vidal. Los terremotos y sus causas. En *El estudio de los terremotos en Almería*. Instituto de Estudios Almerienses, 1994.

- **Tectónicos.** Se deben a la ruptura súbita y violenta de las rocas por efecto de la deformación que se ha acumulado en el medio. En este caso existe una acumulación de esfuerzos que se da durante muchos años, cuando estos esfuerzos superan la resistencia del material producen una dislocación y los esfuerzos se relajan súbitamente. Parte de esta energía se disipa en forma de calor y la otra parte en forma de ondas sísmicas. La etapa de acumulación generalmente dura muchos años y la relajación solamente unos segundos. Este tipo de sismos se producen generalmente en zona de contacto entre placas, las cuales pueden ser divergentes (donde las placas tectónicas se separan) o convergentes (donde las placas tectónicas se juntan creando zonas de subducción, colisión o bordes transcurrentes).³⁶

Los sismos tectónicos también se pueden clasificar en sismos plutónicos (profundos), que se dan en profundidades entre 300 km y 900 km. Sismos interplaca (intermedios), estos se producen en profundidades entre los 70km y 300 km, y los sismos intraplaca (superficiales), que representan el 85% de los sismos y se dan en el interior de las placas tectónicas cuando la energía se libera. Son los más destructivos, pero acumulan menos energía que los anteriores dado que se dan a profundidades menores a los 70 km.³⁷

- **Volcánicos.** Se presentan en las zonas donde hay actividad volcánica. Estos sismos pueden ser de tipo: a) tectónico por la ruptura y el cambio de densidad de la zona. b) explosivos, debido a la explosión de las zonas con presencia de magma y c) temblores largos o tremores volcánicos, no están muy bien explicados aún y pueden durar de minutos a horas y generalmente están asociados a erupciones.³⁸

³⁶ Ibid. p.13.

³⁷ DUQUE, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros (2012). Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/324/sismos.pdf>

³⁸ SÁNCHEZ. Op. Cit., p,40

4.1.3.3. Tsunamis. Son una serie de olas enormes generadas por perturbaciones en la capa exterior de la corteza. Normalmente, estos movimientos súbitos de una gran masa de agua del océano son producto de terremotos, deslizamientos de tierra submarinos, deslizamientos de tierra en la costa o erupciones volcánicas.

Estas grandes olas pueden alcanzar grandes alturas, variando desde los 10 metros a 50 metros, pero algunas han llegado hasta los 500 metros de altura. Esto supone un reto para cualquier embarcación o plataforma petrolífera instalada en el paso de un tsunami.³⁹

4.1.3.4. Disociación de hidratos de gas. Los hidratos de gas son considerados una potencial fuente de energía, están formados por moléculas de gas y de agua. La disociación de hidratos de gas genera gas superficial, estratos de sobrepresión, chimeneas de gas y volcanes de lodo⁴⁰. Además, colapso del lecho marino, fallos de pendiente y daños en las instalaciones. Los hidratos se forman en climas fríos, tales como las zonas de permafrost y aguas profundas y permanecen estables a altas presiones.

A pesar de la apariencia sólida, cualquier cambio en la presión o temperatura, produce inestabilidad en los mismos. Una disociación en los hidratos genera un escape brusco del gas encerrado.⁴¹

4.1.3.5. Deslizamientos. Los deslizamientos pueden ser generados por diversos factores, como una disociación de hidratos, sismos, pendientes inclinadas de hasta 45°, topografía irregular, erosión, o cualquier perturbación que afecte la estabilidad del lecho marinos.

³⁹ READY (2020). Tsunamis. Disponible en: <https://www.ready.gov/es/tsunamis>

⁴⁰ WU, Shiguo; WANG, Dawei; VÖLKER, David. Deep-sea geohazards in the South China Sea. Journal of Ocean University of China, 2018.

⁴¹ PACHECO, Eduardo González. HIDRATOS DE GAS. Revista de Marina N, 2002.

Los deslizamientos del suelo marino generan un fenómeno llamado ‘Corrientes de Turbidez’. Se denominan corrientes de turbidez a los flujos gravitacionales en el cual los sedimentos son soportados durante el transporte totalmente por turbulencia. Se generan cuando un gran volumen de sedimentos es removido por terremotos, desmoronamientos, tormentas, etc. ⁴²

4.1.3.6. Volcanes de lodo. Un volcán de lodo es una geoforma que tiene una forma topográfica definida. Están formados por gas que escapa hacia la superficie cuando encuentra un canal como una falla o fractura. El flujo de gas viene acompañado por material de poca cohesión, agua, salmueras y lodo. ⁴³

Esta estructura causa un fenómeno geológico denominado “diapirismo de lodos”. Este fenómeno se origina por la presencia en profundidad de material arcilloso de características plásticas y gases en condiciones de alta presión (hidratos). Estos se movilizan hacia la superficie a través de fracturas o zonas de debilidad, generando tanto levantamientos y fracturamiento del terreno, como expulsión de lodo y gases por bocas de variadas formas y tamaños. ⁴⁴

Los dos principales mecanismos para la formación de los volcanes de lodo son: ⁴⁵

- Perforación del suelo por un diapiro de lodo. El ascenso de diapiros se puede dar por la inversión de la densidad del material, fracturas y zonas de debilidad. Este movimiento también se ve afectado por el tamaño de grano, contenido de gas y consolidación del material.

⁴² Meza, Luis Alberto. Turbiditas. Universidad de La Plata. 2015

⁴³ QUINTERO, Juan David. Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del río Magdalena, Caribe Colombiano. Universidad EAFIT. 2012.

⁴⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución No. 1564 (04 de diciembre de 2017). Disponible en: http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_1564_04122017_ct_6117_cd.pdf

⁴⁵ MILKOV, A. V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. *Marine Geology*, 2000.

- Ascenso de lodo a través de fallas y fracturas. Estas pueden estar conectadas a diapiros que no alcanzaron a perforar el suelo marino o también a capas sedimentarias que liberan estos materiales. Este es el proceso más común de formación de volcanes de lodo.

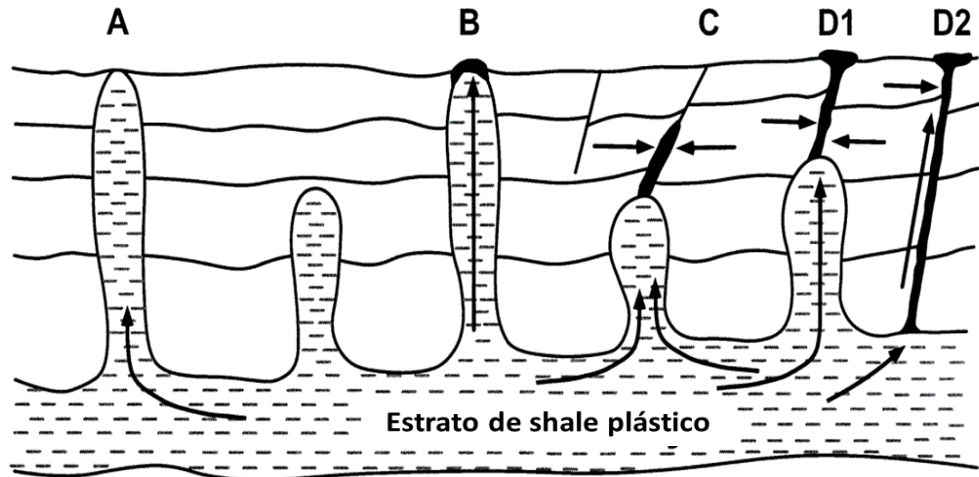


Fig. 12 – Mecanismos de formación de volcanes de lodo

Fuente: MILKOV, A. V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. Marine Geology, 2000.

4.2. Identificación de riesgos en las operaciones costa afuera originados por condiciones climáticas y geológicas

Luego de realizar la revisión bibliográfica, la selección de la información y de entender los fenómenos climáticos, oceanográficos y geológicos, podemos identificar algunos factores de riesgo que podrían representar una amenaza para el desarrollo de las operaciones costa afuera. Los factores de riesgo aquí identificados fueron los más comunes y relevantes en los artículos usados para el desarrollo de esta investigación.

Para que el factor de riesgo genere una consecuencia ambiental, debe haber un evento que origine (evento iniciante) la materialización del escenario de riesgo. Se identificaron los siguientes eventos iniciantes:

- Colisión de helicóptero y/o embarcaciones: Contacto accidental durante el transporte de personal o insumos desde tierra firme a la plataforma o viceversa.
- Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma: Ruptura en las líneas de ancla, patas o algún problema estructural en la plataforma.
- Vuelco o hundimiento: Pérdida de estabilidad resultando en el ladeo o naufragio de la plataforma
- “Blowout”: Fuga incontrolable de los diferentes fluidos de formación.
- Falla de suelo: Pérdida de estabilidad del fondo marino que puede generar deslizamientos, grietas, flujos de detritos, etc.
- Ruptura del “riser”: Falla mecánica en la integridad del equipo.

Tabla 2 – Identificación de escenarios de riesgo según hallazgos

FACTOR DE RIESGO	EVENTO INICIANTE	EVENTO AMENAZANTE	CONSECUENCIAS
Vientos fuertes	Colisión de helicóptero y/o embarcaciones Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma Vuelco o hundimiento de la plataforma	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles Incendio y/o explosión	Contaminación del agua Contaminación atmosférica

Baja visibilidad por niebla, neblina o tormenta de nieve	Colisión de helicóptero y/o embarcaciones	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles Incendio y/o explosión	Contaminación del agua Contaminación atmosférica
Icebergs y el hielo	Colisión de helicóptero y/o embarcaciones Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma Vuelco o hundimiento de la plataforma	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles Incendio y/o explosión	Contaminación del agua Contaminación atmosférica
Tormentas ciclónicas	Colisión de helicóptero y/o embarcaciones Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma Vuelco o hundimiento de la plataforma	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles Incendio y/o explosión	Contaminación del lecho marino Contaminación del agua Contaminación atmosférica
Oleajes fuertes	Colisión de helicóptero y/o embarcaciones Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma Vuelco o hundimiento de la plataforma	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles Incendio y/o explosión	Contaminación del lecho marino Contaminación del agua Contaminación atmosférica

Corrientes marinas	<p>Colisión de helicóptero y/o embarcaciones</p> <p>Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma</p> <p>Vuelco o hundimiento de la plataforma</p>	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>
Marea alta	<p>Colisión de helicóptero y/o embarcaciones</p> <p>Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma</p> <p>Vuelco o hundimiento de la plataforma</p>	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>
Sobrepresión	“Blowout”	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>
Eventos sísmicos	Falla de anclaje y/o estructura en la la plataforma	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>

Tsunamis	<p>Colisión de helicóptero y/o embarcaciones</p> <p>Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma</p> <p>Vuelco o hundimiento de la plataforma</p>	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>
Disociación de hidratos de gas	<p>Falla del suelo</p> <p>Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma</p> <p>Ruptura del “riser”</p>	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>
Deslizamientos	<p>Falla del suelo</p> <p>Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma</p> <p>Ruptura del “riser”</p>	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>
Volcanes de lodo	<p>Falla del suelo</p> <p>Falla de anclaje y/o estructura en la plataforma</p> <p>Ruptura del “riser”</p>	<p>Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles</p> <p>Incendio y/o explosión</p>	<p>Contaminación del lecho marino</p> <p>Contaminación del agua</p> <p>Contaminación atmosférica</p>

5. RIESGOS QUE PUEDEN GENERAR IMPACTOS AMBIENTALES EN OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO

En esta sección, con base en la bibliografía consultada se realiza un contraste de los riesgos descritos en el capítulo anterior con el comportamiento climático, oceanográfico y geológico en el mar caribe colombiano con el fin de conocer aquellos riesgos que pueden generar impactos ambientales en las operaciones de exploración y producción costa afuera.

5.1. Comportamiento climático, oceanográfico y geológico presente en el mar caribe colombiano

El mar caribe colombiano es un sistema oceánico complejo en donde hacen presencia diversidad de procesos físicos y químicos, los cuales se encargan de moldear la costa, reciclar elementos que son provenientes del continente, ser hábitat de diversas especies de plantas y animales, dar alimento a las poblaciones cercanas y brindar recursos energéticos a todo el país.

En esta sección se abordará la dinámica del clima, la oceanografía y geología presente en el mar caribe colombiano comprendido en las áreas de la cuenca Colombia, plataforma centroamericana, golfo de Venezuela y margen continental colombiano. Esto con el fin de determinar los riesgos que aplican en el contexto de nuestra zona de estudio.

5.1.1. Contexto climatológico. Debido a su ubicación y a la inclinación del planeta el mar caribe está expuesto de forma directa a los rayos solares, por esto no se genera una estacionalidad climática marcada, teniendo así solamente cambios en el comportamiento de los vientos y las precipitaciones debido a la zona de convergencia intertropical y los vientos alisios. ⁴⁶

5.1.1.1. Vientos. Durante todo el año predominan los vientos alisios provenientes del noreste en dirección suroeste, generando así una época seca de vientos fuertes de diciembre a abril, una época de transición de mayo a julio y finalmente una época lluviosa de agosto a noviembre **Fig. 12**, gracias a la influencia del chorro superficial del caribe y la zona de convergencia intertropical (ZCIT). ⁴⁷

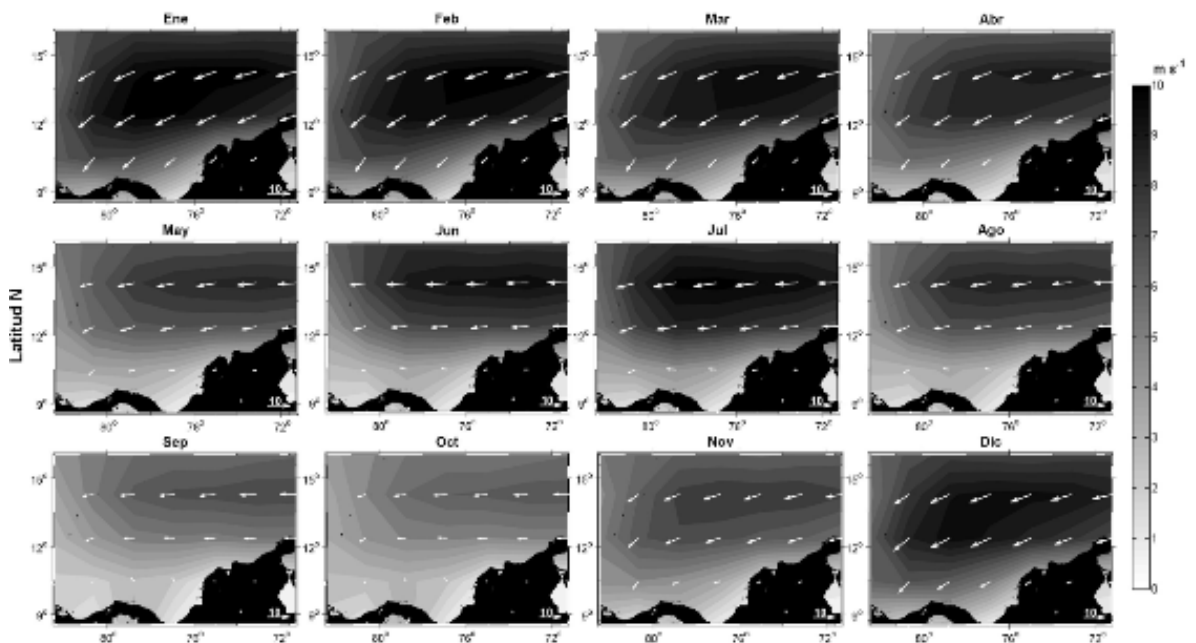


Fig. 13 – Ciclo anual de la velocidad media del viento sobre la cuenca Colombia.

⁴⁶ LOZANO-DUQUE, Y.; MEDELLÍN-MORA, J.; NAVAS, G. R. Contexto climatológico y oceanográfico del mar caribe colombiano. INVEMAR, editores. Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Invemar, 2010.

⁴⁷ Ibid. p.25

Fuente: RUIZ, Mauricio A. BERNAL, Gladys. Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe. 2009.

La intensificación del chorro superficial del caribe durante los meses de diciembre a marzo causa un enfriamiento al noreste del océano atlántico, generando que durante los meses de agosto a octubre los vientos que entran al caribe se debiliten.

Durante la época seca, la velocidad del viento se encuentra entre los 6-7 m/s, con pico de 18.4 m/s, en la época de transición se encuentra alrededor de los 2.4 m/s y en la época de lluvias se tiene una reducción con valor promedio de 1.02 m/s, presentando algunos picos de velocidades con la llegada de tormentas tropicales del atlántico (huracanes).⁴⁸

La ZCIT se forma por la convergencia de los vientos alisios provenientes del noreste y del suroeste en la zona ecuatorial donde se presentan conjuntos de nubes con extensiones de cientos de kilómetros que son llevados gracias a la convergencia. Esta zona se desplaza entre 2 a 11° latitud Norte entre septiembre y noviembre generando así la época lluviosa.⁴⁹

5.1.1.2. Precipitaciones. La debilitación de la corriente de chorro del caribe durante el segundo periodo del año, la cual genera también la debilitación de los vientos alisios que llegan al mar caribe colombiano combinado con el desplazamiento de la ZCIT hacia al norte, causa el periodo de lluvias.

Exceptuando la zona cerca al departamento de la guajira donde la precipitación total anual es muy inferior a los 500mm, en el resto del mar caribe los valores anuales

⁴⁸ RUIZ-OCHOA, MAURICIO A.; FRANCO, Gladys Bernal. Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe. 2009

⁴⁹ VILLOTA, Constanza Ricaurte; SALAMANCA, Martha Bastidas (ed.). Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras " José Benito Vives de Andreis"-INVEMAR, 2017.

de las precipitaciones varían entre los 288 a 1104 mm, presentando algunos picos generados por la llegada de tormentas tropicales del atlántico (huracanes).⁵⁰

5.1.1.3. Huracanes y tormentas tropicales. El caribe colombiano se ha caracterizado por ser una zona de baja probabilidad para la formación y desarrollo de tormentas tropicales (exceptuando la zona de la península de la guajira y las islas de San Andrés, providencia y Santa Catalina)⁵¹, sin embargo, se han presentado algunos eventos como el caso de Irene en 1971, Joan en 1988 y Bret en 1993, o más recientes como Emily en 2005, Félix en 2007, Matthew y Otto en 2016 los cuales han aumentado de frecuencia e intensidad con el paso de los años con el aumento de la temperatura media del océano.

Alrededor de 57 tormentas han cruzado el mar caribe colombiano en 100 años (contados desde 1907 – 2007), donde el huracán de categoría 4 de nombre Joan (1988) es el evento ciclónico de mayor relevancia durante este periodo de tiempo, el cual recorrió la Península de la Guajira antes de dirigirse a Centroamérica. Además de 2 huracanes de categoría 1 y 2 tormentas tropicales que han pasado cerca de la costa continental.⁵²

En el año 2016, se reportó el huracán de mayor categoría que ha pasado por aguas territoriales de Colombia, el huracán Matthew cuya formación se dio en el atlántico cerca de las Antillas menores y en su paso hacia el oeste pasó de ser tormenta tropical a huracán de categoría 1 y posteriormente a huracán de categoría 5 al pasar frente a la costa de la península de La Guajira con vientos de 270 km/h y olas de más de 7 m.

⁵⁰ LOZANO-DUQUE, Y.; MEDELLÍN-MORA, J.; NAVAS. Op. Cit., p.50

⁵¹ ORTIZ. (2007) Huracanes y tormentas tropicales en el Mar Caribe colombiano desde 1900. Boletín científico CIOH.

⁵² Ibid. p.14.



Fig. 14 – Trayectoria y clasificación del Huracán Matthew durante su paso por el Mar Caribe

Fuente: EARTH OBSERVATORY.NASA.GOV. (2020). Hurricane Matthew en route to Florida. From <https://earthobservatory.nasa.gov/images/88877/hurricane-matthew-en-route-to-florida>

Las costas frente a la Península de la Guajira y las islas de San Andrés y Providencia son las zonas del mar caribe Colombiano de más alto riesgo ante la amenaza de las tormentas que vienen del este⁵³, otras tormentas pueden formarse en aguas territoriales como el caso del huracán Otto de categoría 3 en 2016 que se originó al este de la isla de San Andrés se desplazó a través del golfo de Misquitos en Panamá dirigiéndose al sureste antes de cambiar de rumbo y entrar a las costas de Panamá y Costa Rica para entrar en el océano pacífico. El caso de San Andrés es más delicado ya que al menos 16 tormentas han afectado a la isla.

⁵³ ORTIZ. Op. Cit. p. 52

Aunque un huracán o tormenta tropical no pase cerca, puede generar oleaje de fondo y aparecer sin previo aviso, ya que las olas formadas pueden viajar cientos de kilómetros y tener alturas entre 2 a 4 m de acuerdo con la dinámica misma de su formación hasta su arribo.

5.1.2. Contexto oceanográfico. El mar caribe colombiano cubre alrededor de 540876 km² y una línea de costa de 1760 km que abarca desde límites con Panamá en Cabo tiburón hasta límites con Venezuela en la Península de La Guajira. Esta zona debido a las interacciones océano-atmósfera se genera una diferenciación entre dos sectores: 1) El sector suroccidental presenta características típicas de mares tropicales, esta se extiende desde el golfo de Urabá hasta la desembocadura del Río Magdalena sumándose la zona del archipiélago de San Andrés y Providencia. 2) El sector nororiental presenta una oceanografía similar a zonas subtropicales, esta se extiende desde la desembocadura del Río Magdalena hasta la península de La guajira.⁵⁴

5.1.2.1. Oleaje. El comportamiento del oleaje en el mar caribe colombiano que está definido por la dirección, el periodo y la altura, están relacionado con el patrón de los vientos; donde a la energía de los vientos será directamente proporcional a la fuerza de las olas.⁵⁵ Por esto, los patrones del oleaje en el caribe están dominados por el velocidad y dirección de los vientos alisios provenientes del noreste y de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) creando ciclos anuales en los cuales el oleaje esta calmo o dinámico, dependiendo de la intensificación o movimiento de estos.⁵⁶

⁵⁴ LOZANO-DUQUE, MEDELLÍN, NAVAS. Op. Cit. p.52.

⁵⁵ Ibid. p. 14

⁵⁶ OSORIO. (2009). Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos. Boletín Científico CIOH.

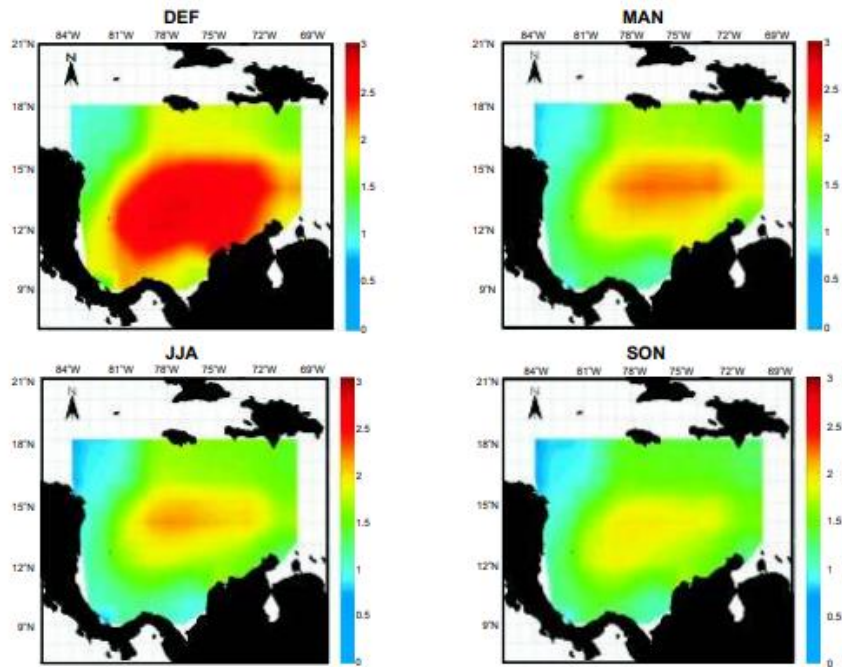


Fig. 15 – Altura del oleaje durante un año en la cuenca Colombia.

Fuente: OSORIO. (2009). Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos. En: Boletín Científico CIOH.

Durante la época seca con vientos fuertes vientos fuertes de diciembre a Abril (DEF y MAM) se presentan alturas de olas promedio de hasta 2.7 m donde las olas más altas se encuentran sobre la cuenca Colombia en mar abierto y en las costas de la Guajira hasta Cartagena, en la época de transición de Mayo a Julio (JJA) los valores del oleaje disminuyen a medida que va cambiando la época climática con valores promedios de 2 m y en el periodo de vientos ligeros y lluviosa se presentan valores promedio de 1.4 m. Así mismo, durante el periodo de huracanes que va de junio a noviembre se pueden presentar trenes de oleaje generados por la dinámica de estas tormentas. ⁵⁷

⁵⁷ LOZANO-DUQUE, MEDELLÍN, NAVAS. Op. Cit. p.52.

5.1.2.2. Mareas. En el mar caribe colombiano, se presenta un rango de mareas entre 20 y 30 cm, y esta pocas veces supera los 50 cm por lo que no será significativa para alterar las corrientes oceánicas que pasan en la zona. ⁵⁸

La marea en el Caribe colombiano es mixta diurna, es decir, se presenta una pleamar (elevación) y una bajamar (descenso) durante un día, y mixta semidiurna cuando se presentan dos pleamares y dos bajamares (uno más alto y bajo que el otro) durante un día. Estos patrones se presentan con cierta irregularidad. ⁵⁹

5.1.2.3. Corrientes marinas. En el mar Caribe colombiano están influenciadas, además de los vientos Alisios, por tres condiciones generales: la presencia de la Corriente del Caribe desde la superficie hasta aproximadamente 160 m de profundidad hacia el occidente, la contracorriente Panamá-Colombia hacia el oriente, con intensidades que varían con la profundidad (**Fig. 15**), y la corriente profunda del Caribe que presenta un lento movimiento hacia el oriente sobre el talud y el fondo abisal. ⁶⁰

La cuenca Colombia se encuentra dominada al sur por la contracorriente Panamá-Colombia, la cual registra un flujo en dirección oriente. Esta contracorriente es controlada por un giro ciclónico conocido como el giro Panamá-Colombia de donde se desprende la mencionada contracorriente. Esta, varía su extensión a lo largo de la costa colombiana: En la época seca se extiende desde el golfo del Darién hasta bocas de cenizas donde termina su curso el Río Magdalena en Barranquilla, durante la época de lluvias con la disminución de los vientos alisios, se extiende hasta la Península de la Guajira. ⁶¹

⁵⁸ Ibid. p.35

⁵⁹ AMAYA (2001). Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

⁶⁰ Ibid. p. 15

⁶¹ LOZANO-DUQUE, MEDELLÍN, NAVAS. Op. Cit. p.52.

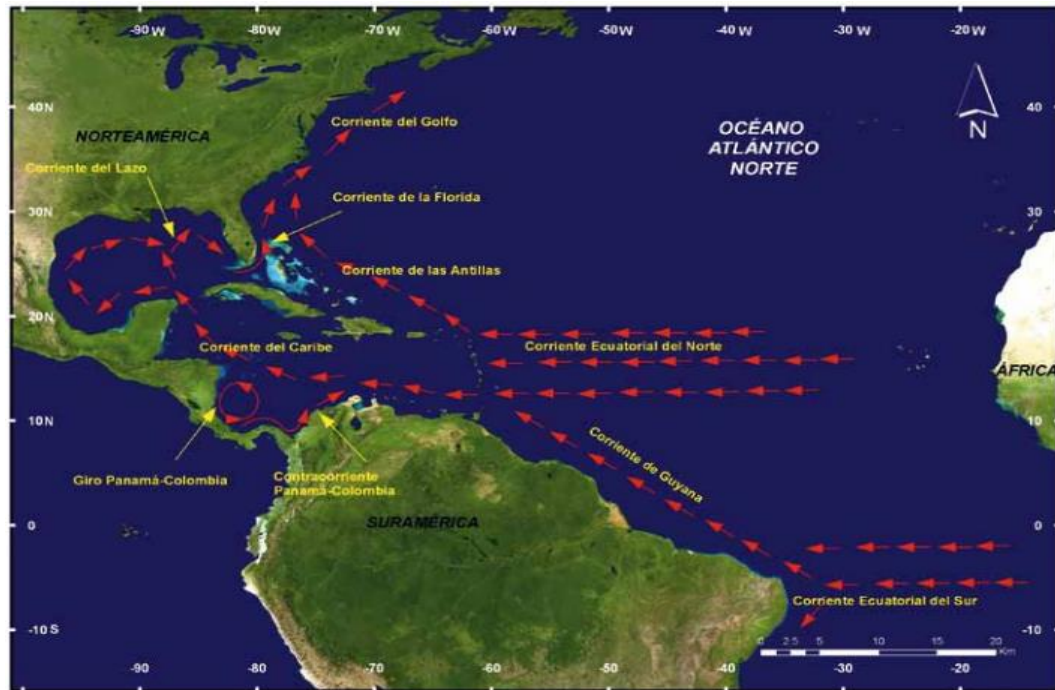


Fig. 16 – Sistema general de corrientes marinas superficiales en el Caribe

Fuente: LOZANO, MEDELLIN, NAVAS. (2010) Contexto climatológico y oceanográfico del mar Caribe colombiano. En: Biodiversidad del margen continental del caribe colombiano. Serie De publicaciones especiales. Colombia, INVEMAR.

Uno de los principales eventos de la contracorriente Panamá-Colombia es el cambio de dirección de las aguas provenientes del Río Magdalena, donde durante los meses secos la mancha de sedimentos suspendidos en aguas superficiales que aporta el río se dirige inicialmente paralela al eje de la desembocadura de este río, después de cierta distancia, esta mancha se dirige hacia el occidente debido al disminución de la contracorriente y la fuerza de la corriente del Caribe. En cambio, en época de lluvia la mancha sigue hacia el oriente rumbo a la península de la Guajira. ⁶²

⁶² Ibid. p.13

5.1.3. Contexto geológico. El mar caribe se considera semicerrado, dado que se encuentra rodeado por América del sur y centro América y separado del atlántico por las dorsales del arco de las Antillas, pero este cuenta con pasajes que permiten el flujo de agua. En el lecho marino, nos encontramos con 5 cuencas: Granada, Venezuela, Colombia, Caimán y Yucatán. Estas cuencas se encuentran separadas entre sí por medio de dorsales las cuales son elevaciones del fondo marino: La Dorsal de Caimán separa las Cuencas de Yucatán y Caimán; la Dorsal de América Central o de Jamaica entre las Cuencas Caimán y Colombia; la Dorsal de Beata entre las Cuencas Colombia y Venezuela; y la Dorsal de Aves entre las cuencas de Venezuela y Granada.⁶³

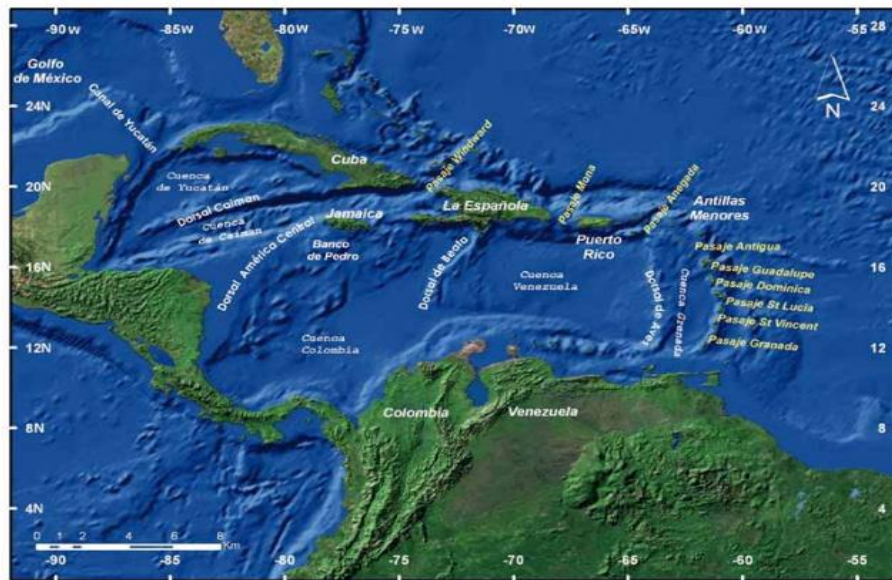


Fig. 17 – Mapa geomorfológico del mar Caribe

Fuente: LOZANO, MEDELLIN, NAVAS. (2010) Contexto climatológico y oceanográfico del mar Caribe colombiano. En: Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie De publicaciones especiales. Colombia, INVEMAR.

⁶³ Ibid. p.13

El mar territorial Colombia está comprendido en su mayoría en la cuenca Colombia, esta última es delimitada por Colombia, América central y el oriente de Honduras. La Cuenca de Colombia ocupa alrededor del 40% del mar Caribe.

Las condiciones oceánicas de esta área han sido muy poco estudiadas en comparación a la región oriental del Caribe. La variación de la circulación de la cuenca de Colombia es entendida solo a escala regional y se conoce poco a escala interanual y mesoescala.⁶⁴

5.1.3.1. Geomorfología. El margen continental de la costa caribe colombiana ha estado bajo el dominio de la interacción de la placa Caribe y la placa sudamericana, donde la configuración estructural inicia en el cretácico tardío con la colisión de ambas placas, para posteriormente generar un cambio de dirección de la placa Caribe hacia el este y finalmente comenzar el proceso de subducción oblicua del mioceno temprano. La colisión de ambas placas es el causante de la configuración actual del cinturón deformado del caribe sur, donde la convergencia se ajusta a lo largo de la costa caribe colombiana en una secuencia sedimentaria altamente deformada de 12 km de espesor.⁶⁵

Esta zona, tiene la peculiaridad que presenta todo tipo de geoformas: cordilleras, abanicos, montañas submarinas, pequeñas colinas, valles, cañones (**Fig. 18**) y donde la cuenca Colombia representa el accidente geográfico de mayor dimensión en la zona, esta es una gran receptora de sedimentos. Gracias a esto, se pueden diferenciar 5 zonas:⁶⁶

⁶⁴ LOZANO-DUQUE, MEDELLÍN, NAVAS. Op. Cit. p.52.

⁶⁵ LÓPEZ. (2020). Caracterización geomorfológica de cuerpos sedimentarios cuaternarios en Cuenca Bahía, Offshore (Colombia).

⁶⁶ TABARES, SOLTAU, DÍAZ. (1996). Caracterización geomorfológica del sector suroccidental del mar Caribe. CIOH.

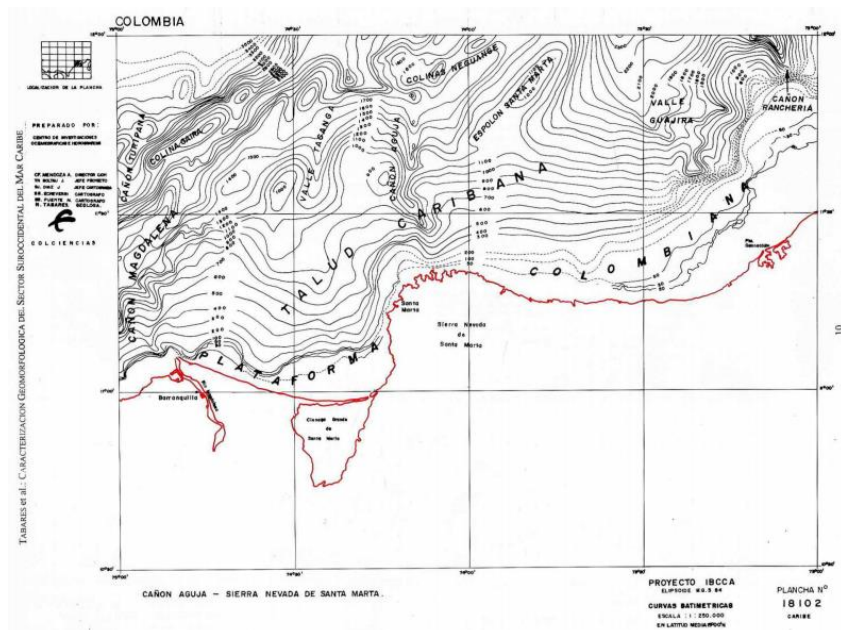


Fig. 18 – Caracterización geomorfológica del sector sur del mar Caribe colombiano frente a la sierra nevada de Santa Marta

Fuente: TABARES, SOLTAU, DÍAZ. (1996). Caracterización geomorfológica del sector suroccidental del mar Caribe. En: Boletín Científico – CIOH.

- **Plataforma colombiana.** Tiene una extensión de 900 km a lo largo de la costa caribe, tiene amplitudes variables y 200 m de profundidad aproximadamente. En punta gallinas tiene una amplitud de 10 km y más al sur de la península 40 km. En la sierra nevada de Santa Marta la plataforma es casi inexistente y el talud desciende drásticamente desde la costa. La máxima amplitud se encuentra en el golfo de Morrosquillo con 75 km, e este sector encontramos varios grupos de islas, bancos y bajos como tierra bomba o islas del rosario.⁶⁷

⁶⁷ Ibid. p. 16

- **Talud continental Zenú.** Se encuentra adyacente a la plataforma de panamá, este inicia en la frontera marítima de Colombia y Panamá y se dirige al oeste por la costa del vecino país, manifestándose un aumento de pendiente a partir de los 200 m de profundidad. Esta zona compleja es afectada por los fenómenos de compresión y cizallamiento generados por la subducción de la placa caribe y que constituye el cinturón deformado de Panamá en esta área. ⁶⁸
- **Talud continental Caribaná.** Comienza a 200 m de profundidad con un aumento muy marcado en la pendiente. Inicia en el límite marítimo Panamá-Colombia, avanzando por toda la línea de costa y su límite este no está definido ya que sale de la jurisdicción nacional. El talud es cortado por 4 cañones y un valle, junto con otras características que lo hacen irregular. Los 2 primeros cañones se encuentran cerca de la desembocadura del río Magdalena, el primero llamado Turipaná tiene una longitud de 75 km y el segundo denominado Magdalena ya que es una prolongación submarina de la desembocadura del río con 88 km. ⁶⁹
Al Noreste encontramos el cañón aguja, colinas de Neguanje, el espolón Sana Marta, el valle Guajira, el cañón ranchería y la cuenca ranchería.
- **Cuenca Colombia.** Se caracteriza por tener una morfología de dimensión considerable, presenta un relieve variable con zonas planas hasta alturas de cientos de metros. La cuenca se localiza en el sector oeste de la placa Caribe y limitada al norte por el escarpe Hess, al este por la cordillera Beata, al sur por el frente de deformación del Caribe, descrito como los taludes Zenú y Caribaná y al oeste por el talud continental que desciende desde Costa Rica y Panamá.

⁶⁸ Ibid. p. 17

⁶⁹ Ibid. p. 18

La cuenca está constituida por cuerpos de grandes dimensiones como son el abanico del Magdalena y la planicie colombiana en el sector central, el abanico de Costa Rica y la planicie de Panamá, en el extremo suroeste. Las profundidades más grandes se encuentran en el centro con 4100 metros, en límites con la cordillera Beata con 4200 metros y al este del paso Aruba con 4500 m de profundidad.⁷⁰

- **Sector de los cayos y bancos.** Se prolonga desde la costa Caribe de Honduras y Nicaragua hasta la isla la española que es jurisdicción de Republica Dominicana y Haití, al norte se limita con la depresión Caimán y al sur con el escarpe de Hess.

En el sector sureste se encuentra el talud continental de perlas, con profundidades de 1000 m, en él se encuentran las depresiones de San Andrés se extiende por 32 km y profundidades de 1900 m, Providencia se extiende por 92 km y profundidades de 2400 m llegando al cañón del mismo nombre y finalmente la depresión Huitoto se extiende por 14 km y profundidades de 2200 m y prolongándose hasta el valle Bachué. Estas depresiones son la división natural que separa el talud de la cordillera submarina donde se encuentra el archipiélago de San Andrés y Providencia, que es paralela a las depresiones y se convierte en la meseta Katíos en el Norte.⁷¹

5.1.3.2. Sismicidad. La región de la del mar caribe colombiano se ve afectada por la convergencia de las placas Cocos, Caribe, Suramérica y Nazca, donde ocurren procesos de subducción. Esto causó la creación de diferentes subcuencas en la cuenca principal que es la cuenca Colombia. Las unidades estratigráficas “se

⁷⁰ Ibid. p. 18

⁷¹ Ibid. p. 18

depositaron al margen de dos provincias: provincia con basamento oceánico al oeste; provincia con basamento continental al este".⁷²

Existen rasgos estructurales y geomorfológicos muy marcados, los cuales son evidencia del movimiento de las placas tectónicas que intervienen en la formación de esta área. Esto genera un movimiento dextro-lateral provocado por el choque oblicuo de la placa de nazca y la subducción de la placa Caribe en la sudamericana, formando varias geoformas como anticlinales, lomos de presión, sierras y otras, las cuales tienen en general una orientación y algunos fallamientos con dirección E-W y NW-SE.⁷³

Al estar presente todos estos fenómenos, se tiene presencia de movimientos telúricos frente a las costas de Santa Marta, La Guajira y en el archipiélago de San Andrés y Providencia en su mayoría de baja intensidad.

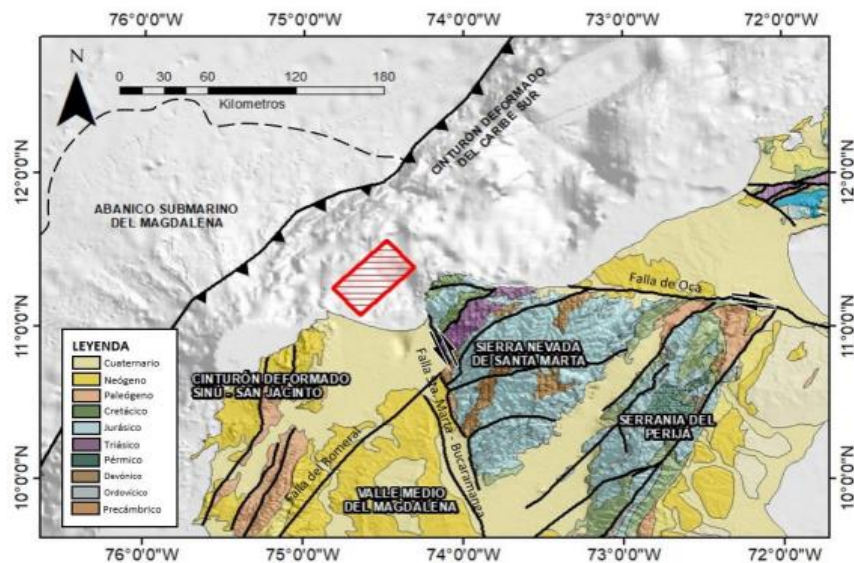


Fig. 19 - Principales dominios geomorfológicos y sistemas de fallas

Fuente: QUINTERO. (2012). Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del río Magdalena, Caribe Colombiano. Universidad EAFIT.

⁷² RAMÍREZ, GONZÁLEZ. (1989). Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del río Magdalena, Caribe Colombiano. *En Memorias del I simposio suramericano de deslizamientos*.

⁷³ Ibid. p.35

5.1.3.3. Diapirismo. La zona de plataforma, sobre el abanico del Magdalena, se tiene presencia de volcanes de lodo reportados por el servicio geológico colombiano, también en la zona del talud a lo largo de la costa caribe colombiana se tiene presencia de estos cuerpos, al igual que la zona distal del abanico, pero las configuraciones morfológicas y los sistemas de formación de éstos, varían según el área en donde se encuentren.⁷⁴

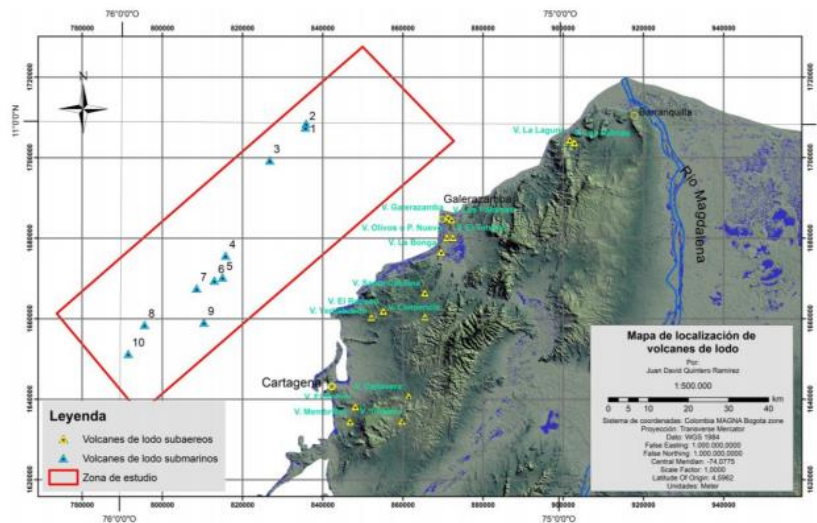


Fig. 20 – Localización de volcanes de lodo frente a las costas del departamento de Bolívar

Fuente: Fuente: QUINTERO, Juan David. Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del río Magdalena, Caribe Colombiano. Universidad EAFIT. 2012.

Estos cuerpos pueden tener alturas superiores a los 75 m y tener diámetros de hasta 1000 m, que responden a los patrones de deformación y fallamiento en la zona los cuales favorecen la formación de diapiros de lodo, y grandes pliegues, que a su vez permiten la formación de volcanes de lodo más grandes.⁷⁵

⁷⁴ Ibid. p.35

⁷⁵ Ibid. p.35

5.1.3.4. Tsunamis. En el caso del mar Caribe colombiano no se ha presentado registro de eventos sísmicos que traigan como consecuencia Tsunamis en los últimos 100 años o más. Sin embargo, eso no indica que no exista el riesgo o las condiciones para que se genere este tipo de eventos.⁷⁶

5.1.3.5. Hidratos de gas. Un estudio realizado por Geoexplorers international, postula a la cuenca Colombia en el mar Caribe y a la cuenca de Panamá en el océano Pacífico con potencial de hidratos de gas. Este estudio se hizo por el uso de información específica proporcionada por alrededor de 6000 km y 8000 km de líneas sísmicas del pacífico y el caribe respectivamente.⁷⁷



Fig. 21 – Presencia de hidratos en América

Fuente: VÁSQUEZ. (2012) Hidratos de gas. *Revista Universidad EAFIT*, vol. 32, No. 102, p. 87.

⁷⁶ YANDAR, RICHARD. (2015). Aproximación numérica a la propagación de ondas de tsunami y caso de estudio en la costa Caribe Colombiana.

⁷⁷ VÁSQUEZ, Hernán. Hidratos de gas. *Revista Universidad Eafit-No*, 2012.

5.2. Identificación de escenarios de riesgo en las operaciones costa afuera originados por condiciones climáticas y geológicas del mar Caribe colombiano

Según el contexto del mar Caribe colombiano, hay varios factores de riesgo antes identificados que no aplican; como es el caso del hielo, iceberg y nieve, ya que en nuestra zona de estudio no hay estaciones y se encuentra ubicado en el trópico. En esta región tampoco se documentan eventos como los tsunamis, sin embargo, este factor de riesgo siempre va a estar presente debido a la amenaza de la zona de subducción. Respecto a los demás factores de riesgo que aplican en el entorno del Caribe, se decidió agrupar a aquellos que tienen similitud en el escenario de riesgo que se va a evaluar.

Tabla 3 – Identificación de escenarios de riesgos en el mar Caribe colombiano

EVENTO INICIANTE	ESCENARIO DE RIESGO	CONSECUENCIA AMBIENTAL
Colisión de helicóptero y/o embarcaciones con la plataforma, debido a vientos fuertes, tormentas ciclónicas o fenómenos oceanográficos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Contaminación del agua
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Contaminación atmosférica
Falla de anclaje y/o estructura de la plataforma, debido vientos fuertes, tormentas ciclónicas o fenómenos oceanográficos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Contaminación del agua
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Contaminación atmosférica
Vuelco y/o hundimiento de la plataforma, debido a vientos fuertes, tormentas ciclónicas o fenómenos oceanográficos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Contaminación del agua
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Contaminación atmosférica

"Blowout" generado por una sobrepresión	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Contaminación del agua
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el suelo marino	Contaminación del lecho marino
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Contaminación atmosférica
Falla de anclaje y/o estructura de la plataforma, debido a eventos sísmicos, volcanes de lodo o disociación de hidratos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles	Contaminación del agua
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles	Contaminación del lecho marino
	Incendio y/o explosión	Contaminación atmosférica
Ruptura del "riser", debido a eventos sísmicos, volcanes de lodo o disociación de hidratos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles	Contaminación del agua
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles	Contaminación del lecho marino
	Incendio y/o explosión	Contaminación atmosférica
Falla del suelo, debido a eventos sísmicos, volcanes de lodo o disociación de hidratos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles	Contaminación del agua
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles	Contaminación del lecho marino
	Incendio y/o explosión	Contaminación atmosférica

5.3. Sumario de frecuencia y tipos de accidentes

Con el fin realizar una evaluación de riesgos lo más cercano posible a la realidad, se toma como un estudio estadístico donde se hace una recopilación histórica de todos los accidentes de plataformas costa ahuera hasta el 2014.⁷⁸

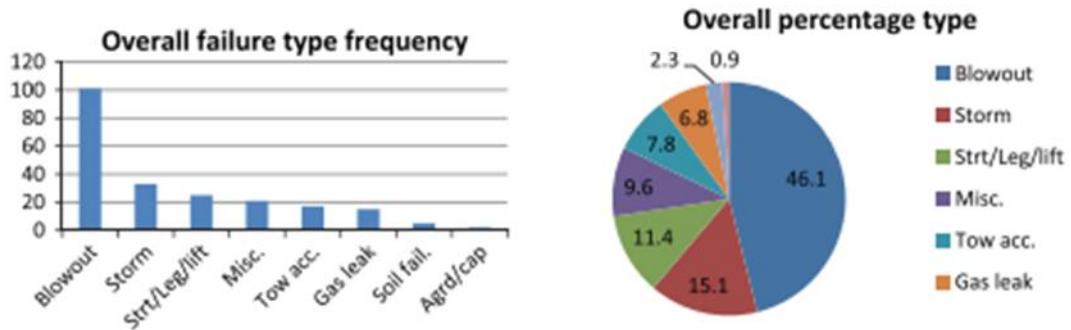


Fig. 22 – Frecuencia y tipos de accidentes a nivel global

Fuente: ISMAIL, Zubaidah, et al (2014). Evaluating accidents in the offshore drilling of petroleum: Regional picture and reducing impact. Measurement.

A nivel global, los eventos más recurrentes son los “Blowout”, tormentas, fallas estructurales, fallas de anclaje y levantamiento de las plataformas.

En Norteamérica, el lugar de mayor frecuencia de casos registrados es el Golfo de México, el cual es muy similar en su comportamiento climático, oceánico y geológico, por eso es de importancia para la evaluación de riesgos en el mar caribe, ya que es una zona que está en auge y no hay mucha información. Acá la mayor frecuencia también se da para los “blowout” y para las tormentas.

⁷⁸ ISMAIL, Zubaidah, et al. (2014). Evaluating accidents in the offshore drilling of petroleum: Regional picture and reducing impact. Measurement.

6. EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Al tener identificados y formulados los riesgos que tienen el potencial para generar impactos ambientales en el mar Caribe, es evidente que para la materialización de alguno de los escenarios planteados se necesita de condiciones específicas del comportamiento del clima, el océano o la geología para provocar el impacto al medio ambiente.

6.1. Matriz RAM (Risk Assessment Matrix)

La matriz de evaluación de riesgos - RAM es el procedimiento más usado y reconocido en la industria para la para realizar este tipo de análisis, el cual fue desarrollado por SHELL.⁷⁹ En el método, se hace una evaluación cualitativa del riesgo mediante 2 variables: La probabilidad y la vulnerabilidad, donde se definieron unos rangos necesarios para evaluar los escenarios de riesgo.

6.1.1. Probabilidad de que ocurran los escenarios de riesgo. Para cada uno de los escenarios se estimó la probabilidad, la cual se define como la posibilidad de que un escenario se haga realidad. Para lo cual, se estableció una escala que va de (A) a (E), en donde (A) es la probabilidad más baja y la (E) la más alta.

Tabla 4 – Nivel de probabilidad de que ocurran los escenarios de riesgo

⁷⁹ SHELL. (2006). *Risk Assessment Matrix, Issue 3.0*

Clasificación	Escala
Prácticamente improbable que ocurra	Muy baja (A)
Poco probable que ocurra	Baja (B)
Es posible que ocurra	Moderada €
Bastante probable que ocurra	Alta (D)
Es probable que ocurra en todas las operaciones	Muy Alta €

6.1.2. Nivel de vulnerabilidad. El nivel de vulnerabilidad hace referencia al grado de las repercusiones ambientales. A esta, le fue asignada una escala del 1 al 5.

Tabla 5 – Nivel de vulnerabilidad al ocurrir los escenarios de riesgo

Clasificación de afectación ambiental	Escala	Descripción
Muy baja	No significativa (1)	El impacto presente con efecto ambiental nulo
Baja	Baja (2)	El impacto cuyas consecuencias se asimilan rápidamente, generando modificaciones mínimas al ambiente. Efectos ambientales no significativos
Media	Significativa (3)	El impacto no es suficiente para poner en riesgo el medio ambiente pues causa alteraciones moderadas. Efectos ambientales mínimos
Alta	Alta (4)	El impacto genera un deterioro o alteración del medio ambiente. Efectos ambientales significativos
Muy alta	Máxima (5)	El impacto genera de manera grave deterioro o alteración del medio ambiente. Efecto ambiental muy significativo.

Seguidamente, se muestra una tabla con las valoraciones asignadas en cada uno de los criterios a evaluar (probabilidad y vulnerabilidad). Los posibles impactos al medio ambiente que pueden generarse a causa de derrames de algún fluido (lodos

de perforación, fluidos provenientes del yacimiento y/o combustibles) y la ocurrencia de un incendio y/o explosión.

6.1.3. Matriz de evaluación de riesgos generados por las condiciones climáticas y geológicas del mar caribe colombiano

Tabla 6 – Niveles de riesgo según calificación de probabilidad e intensidad

MATRIZ DE EVALUACION DE RIESGOS GENERADOS POR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y GEOLÓGICAS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO						
Tipos de Impacto		Nivel de probabilidad				
		Muy baja (A)	Baja (B)	Moderada (C)	Alta (D)	Muy Alta (E)
Vulnerabilidad ambiental	Nivel de vulnerabilidad	Prácticamente improbable que ocurra	Poco probable que ocurra	Es posible que ocurra	Bastante probable que ocurra	Es probable que ocurra en todas las operaciones
Afectación ambiental muy alta	Máxima (5)	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
Afectación ambiental alta	Alta (4)	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
Afectación ambiental media	Significativa (3)	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto
Afectación ambiental baja	Baja (2)	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Afectación ambiental muy baja	No significativa (1)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: SHELL. Risk Assessment Matrix, Issue 3.0. Marzo, 2006.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la matriz de riesgos realizada para cada uno de los escenarios de riesgo; donde se tuvo en cuenta la información encontrada y documentada sobre la repetición de cada uno de los incidentes teniendo en cuenta el escenario y el evento iniciante.

Tabla 7 – Evaluación de riesgos

EVENTO INICIANTE	ESCENARIOS DE RIESGO	RIESGO AMBIENTAL			
		Vulnerabilidad	Probabilidad	VALOR	NIVEL
Colisión de helicóptero y/o embarcaciones con la plataforma, debido a vientos fuertes, tormentas ciclónicas o fenómenos oceanográficos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Poco probable que ocurra	4 B	Medio
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental baja	Poco probable que ocurra	2 B	Bajo
Falla de anclaje y/o estructura de la plataforma, debido vientos fuertes, tormentas ciclónicas o fenómenos oceanográficos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Poco probable que ocurra	4 B	Medio
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental baja	Es posible que ocurra	2 C	Bajo
Vuelco y/o hundimiento de la plataforma, debido a vientos fuertes, tormentas ciclónicas o fenómenos oceanográficos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Prácticamente improbable que ocurra	4 A	Medio
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental baja	Prácticamente improbable que ocurra	2 A	Bajo

"Blowout" generado por una sobrepresión	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Bastante probable que ocurra	4 D	Alto
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el suelo marino	Afectación ambiental alta	Bastante probable que ocurra	4 D	Alto
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental media	Bastante probable que ocurra	3 D	Medio
Falla de anclaje y/o estructura de la plataforma, debido a eventos sísmicos, volcanes de lodo o disociación de hidratos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Poco probable que ocurra	4 B	Medio
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el suelo marino	Afectación ambiental media	Poco probable que ocurra	3 B	Medio
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental baja	Prácticamente improbable que ocurra	2 A	Bajo
Ruptura del "riser", debido a eventos sísmicos, volcanes de lodo o disociación de hidratos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Prácticamente improbable que ocurra	4 A	Medio
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el suelo marino	Afectación ambiental alta	Poco probable que ocurra	4 B	Medio

	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental media	Prácticamente improbable que ocurra	3 A	Bajo
Falla del suelo, debido a eventos sísmicos, volcanes de lodo o disociación de hidratos	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar	Afectación ambiental alta	Poco probable que ocurra	4 B	Medio
	Derrame de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el suelo marino	Afectación ambiental media	Poco probable que ocurra	3 B	Medio
	Incendio y/o explosión afectando la calidad del aire	Afectación ambiental baja	Prácticamente improbable que ocurra	2 A	Bajo

6.2. Análisis De riesgos

En la **tabla 7**, se evidencia que los derrames de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar y en el suelo marino a causa de un “blowout” producto de una sobrepresión, son considerados con un alto nivel de riesgo. Esta media de riesgo fue determinada debido a la alta vulnerabilidad y probabilidad presente.

El escenario de riesgo causado por derrames de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar, es de nivel medio para los eventos iniciantes de colisión de helicóptero y/o embarcaciones, falla de anclaje y/o estructura y hundimiento principalmente por la alta vulnerabilidad y el bajo nivel de probabilidad en el escenario de riesgo. De igual forma, el escenario de riesgo generado por incendios y/o explosiones con afectaciones en la calidad del aire, este presenta un nivel de riesgo medio para evento iniciante “blowout” generado por una sobrepresión. La medida del riesgo es dada por la alta probabilidad y a un nivel medio de vulnerabilidad presente en el escenario de riesgo.

También, los escenarios de riesgo causados por derrames de fluidos de producción, lodos de perforación y/o combustibles en el mar y el lecho marino, son de nivel medio para los eventos iniciantes de ruptura del “riser”, falla del suelo, falla de anclaje y/o estructura principalmente por la vulnerabilidad que se considera media/alta, aunque la probabilidad de que se presente el evento iniciante es relativamente baja.

Por tanto, estos escenarios de riesgo presentan mayor relevancia al momento de evaluar el nivel de riesgo, debido a su nivel de impacto ambiental en caso de que ocurriesen.

7. CONCLUSIONES

Como resultado de la búsqueda y revisión de literatura técnica sobre accidentes que generen un impacto ambiental en operaciones costa afuera, se identificaron un total de trece factores de riesgo que pueden generar seis tipos de eventos iniciantes, siendo los factores más recurrentes entre los climáticos las tormentas y entre los geológicos las sobrepresiones. En este sentido son de suma importancia para la seguridad de la operación que se tengan en cuenta estos factores en el momento de realizar el estudio de riesgos para seleccionar los equipos y unidades que van a estar presentes en la operación.

Uno de los factores de riesgo climáticos y oceanográficos de mayor importancia en el mar caribe son los huracanes, cuya temporada es de julio a noviembre, donde la península de la Guajira y las islas de San Andrés y Providencia son las zonas que se ven directamente en mayor riesgo; aunque las zonas aledañas pueden verse afectadas por los vientos y oleajes de fondo provenientes de estas tormentas, lo que representa una amenaza para la infraestructura petrolera que se encuentren cerca.

La geomorfología del mar caribe colombiano es muy compleja, pues presenta todo tipo de geofomas como cordilleras, abanicos, montañas, valles, cañones, volcanes de lodo, etc. Dado lo anterior, las fallas estructurales y/o del sistema de anclaje se vuelven relevantes, dado que estos son más propensos a verse afectados por algún deslizamiento, flujo de detritos provenientes de los volcanes de lodo o falla del terreno por algún evento sísmico o disociación de hidratos.

Los escenarios de riesgo más relevantes con una alta probabilidad de ocurrencia y de alta vulnerabilidad en el mar Caribe colombiano son la contaminación del agua

y del lecho marino provocados por un “blowout” durante la operación. También, los escenarios de riesgo con un evento iniciante causado por un factor de riesgo de tipo geológico (actividad sísmica, volcán de lodo o hidratos de gas), tienen una probabilidad de ocurrir bastante baja, sin embargo, en el caso en que se materialicen, pueden ocasionar una afectación ambiental alta en el entorno donde se originen.

8. RECOMENDACIONES

Dada la importancia de las zonas oceánicas, para el futuro desarrollo de la industria nacional de los hidrocarburos, se recomienda realizar un análisis de escenarios de riesgo con potencial de generar impactos ambientales en operaciones costa afuera en la zona del océano Pacífico colombiano.

Analizar el impacto a nivel ambiental de un derrame de fluidos de producción y lodos de perforación durante un incidente en las operaciones de perforación y producción costa afuera sobre los ecosistemas marinos.

BIBLIOGRAFÍA

ALFARO, E. (2007). Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de Climatología*, 7.

AMAYA, C. A. (2001). Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25(96), 321-336.

CEDIEL, M., Almanza, O., & Montes, L. (2012). Análisis AVO en el yacimiento de alta impedancia del campo Chuchupa. *Boletín de geología*.

CIOH.ORG. (2020). Climatología Del Caribe - Oceanografía operacional. Obtenido de <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ClimatologiaCaribe6.php>

CRUZ, A. M., & Kraussman, E. (2008). Damage to offshore oil and gas facilities following hurricanes Katrina and Rita: An overview. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(6), 620-626.

DALEY, J. (2013). Mumbai high north platform disaster. *Proto-Type*, 1.

DTN. (2020). What Causes Sea Fog? Obtenido de <https://www.dtn.com/what-causes-sea-fog/>

DUQUE, G. (2012). *Sismos, Manual de geología para ingenieros*. Bogotá: Universidad Nacional.

EARTH OBSERVATORY.NASA.GOV. (2020). Obtenido de Hurricane Matthew en route to Florida: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/88877/hurricane-matthew-en-route-to-florida>

EL PAÍS. (Agosto de 2020). Colombia cuenta con uno de los mayores potenciales en gas y petróleo en América Latina. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/contenido/colombia-cuenta-con-uno-de-los-mayores-potenciales-en-gas-y-petroleo-en-america-latina.html>

El País. (Agosto de 2020). El Gobierno permite a Repsol explotar 10 años más la plataforma Casablanca. Obtenido de https://elpais.com/economia/2018/12/28/actualidad/1546015760_592876.html

GIL-VILLAMER, P. L., & et.al. (2015). Plataformas petrolíferas y procesos para la extracción del petróleo.

- GIRALDO, C., & RODRÍGUEZ. (2017). Evaluación de formaciones para un descubrimiento de gas seco en el Caribe Colombiano, incorporando soluciones inversas, a partir de respuestas a modelos numéricos y analíticos. Fundación Universidad América.
- GUIZA, A. F., & RÍOS, M.-K. (2018). Análisis De Experiencias Recientes En El Tratamiento Y disposición De Residuos Industriales De perforación De Las Operaciones Costa Afuera En El Caribe Colombiano. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- HANLON, C. (2013). The Usumacinta Disaster. Proto-Type, 1.
- ISMAIL, Z. E. (2014). Evaluating accidents in the offshore drilling of petroleum: Regional picture and reducing impact. *Measurement*, 51, 18-33.
- JOHNSON, R. E. (1985). An investigation into the loss of the mobile offshore drilling unit Ocean Ranger. *Marine Technology and SNAME News*.
- LÓPEZ, M. (2020). Caracterización geomorfológica de cuerpos sedimentarios cuaternarios en Cuenca Bahía, Offshore (Colombia). Barranquilla: Universidad del norte.
- LOZANO, Y., MEDELLIN, J., & NAVAS, G. (2010). Contexto climatológico y oceanográfico del mar Caribe colombiano. *Biodiversidad del margen continental del caribe colombiano. Serie De publicaciones especiales*, 54-84.
- MEZA, L. A. (2015). *Turbiditas*. Argentina: Universidad de La Plata.
- MILKOV. (2000). Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. *Marine Geolog*, 167(1-2), 29-42.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2019). *Riesgo, Amenaza, Exposición y vulnerabilidad*. Obtenido de <https://n9.cl/v5ai>
- Ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible de Colombia. (2017). Resolución No. 1564 (04 de diciembre de 2017). Por la cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones . Bogotá: Ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible.
- Necci, A., & al., e. (2019). Lessons learned from offshore oil and gas incidents in the Arctic and other ice-prone seas. *Ocean Engineering*. 185, 12-26.

Nimbus. (2020). Gestión de riesgos / Análisis y cuantificación. Obtenido de <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap7.pdf>

NIMBUS WEATHER SERVICES. (marzo de 2020). El viento . Obtenido de <http://nimbus.com.uy/aprendiendo.html>

ORTIZ. (2007). Huracanes y tormentas tropicales en el Mar Caribe colombiano desde 1900. Boletín científico CIOH.

OSORIO, A. (2009). Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos. Boletín Científico CIOH.

PACHECO, E. (2002). Hidratos de gas. Revista de Marina, 169.

QUINTERO, J. D. (2012). Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del río Magdalena, Caribe Colombiano. Medellín: Universidad EAFIT.

RAMÍREZ, & GONZÁLEZ. (1989). Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del río Magdalena, Caribe Colombiano. En Memorias del I simposio suramericano de deslizamiento.

RANDOLPH, M., & GOURVENEK, S. (2011). Offshore geotechnical engineering. CRC press.

READY. (2020). Tsunamis. Obtenido de <https://www.ready.gov/es/tsunamis>

REVISTA INGENIERÍA NAVAL. (2020). Brasil dispone de la nueva plataforma semisumergible OOS Tiradentes. Obtenido de <https://sectormaritimo.es/plataforma-semisumergible-oos-tiradentes>

RICAURTE-VILLOTA, & SALAMANCA, B. (2017). Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Serie de Publicaciones Especiales Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras " José Benito Vives de Andreis".

RUIZ, M., & BERNAL, G. (2009). Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe. Avances en Recursos Hidráulicos(20), 7-20.

RUIZ-OCHOA; FRANCO. (2009). Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe.

- Sánchez, F. (1994). Los terremotos y sus causas. En El estudio de los terremotos en Almería. España: Instituto de Estudios Almeriense.
- SHELL. (2006). Risk Assessment Matrix, Issue 3.0.
- SHUTTERSTOCK. (2020). Offshore: Imágenes, fotos de stock y vectores | Shutterstock. Obtenido de <https://www.shutterstock.com/es/search/offshore+offshore?page=1>
- SMITH, E. A. (2014). Oceanographic conditions in the Gulf of Mexico in July 2010, during the Deepwater Horizon oil spill. *Continental Shelf Research*, 77, 118-131.
- TABARES, N., SOLTAU, J. M., & DÍAZ, J. (1996). Caracterización geomorfológica del sector suroccidental del mar Caribe. *Boletín Científico - CIOH*, 3-16.
- VÁSQUEZ, H. (2012). Hidratos de gas. *Revista Universidad EAFIT*, 87.
- WEATHER.GOV. (2020). Fog Over Water. Obtenido de <https://www.weather.gov/safety/fog-water>
- Wu, S., Wang, D., & Völker, D. (2018). Deep-sea geohazards in the South China Sea. *Journal of Ocean University of China*, 1-7.
- YANDAR, M. A., & RICHARD, A. (2015). Aproximación numérica a la propagación de ondas de tsunami y caso de estudio en la costa Caribe Colombiana. *Boletín de matemáticas*, 22(2), 135-149.