

DIAGNÓSTICO SUBSECTORIAL DE VULNERABILIDADES Y CÁLCULO DE RIESGOS
DERIVADOS DE LOS IMPACTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y A LA
VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA INDUSTRIA DE HIDROCARBUROS

Resumen Ejecutivo



Elaborado para:

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA



MinMinas
Ministerio de Minas y Energía

Elaborado por:

INERCO 
Consultoría Colombia


Bogotá, D.C.
Noviembre de 2016

DIAGNÓSTICO SUBSECTORIAL DE VULNERABILIDADES Y CÁLCULO DE RIESGOS
DERIVADOS DE LOS IMPACTOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y A LA
VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA INDUSTRIA DE HIDROCARBUROS

Resumen Ejecutivo

Hoja de control

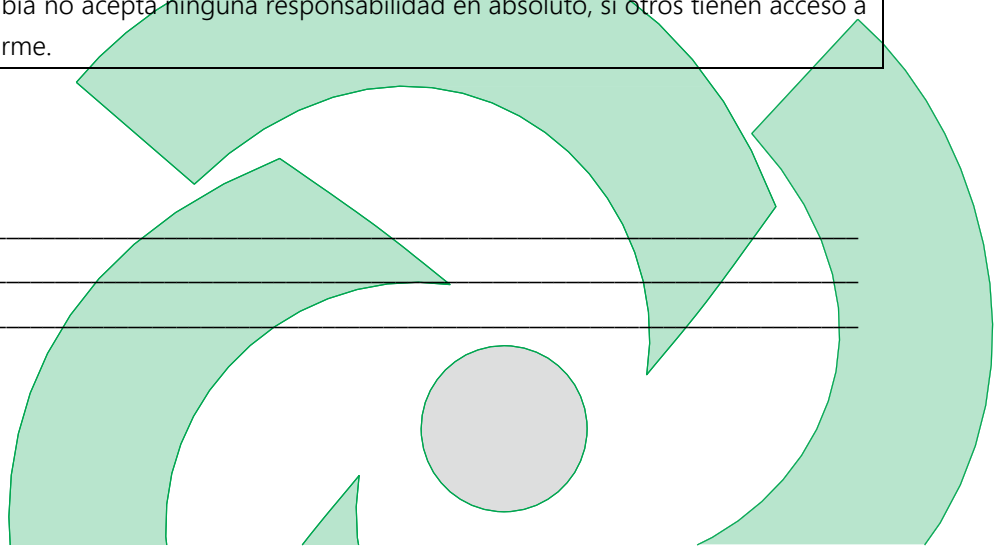
INERCO Consultoría Colombia

	Elaboró	Revisó	Aprobó	
Versión: 001	 Vo. Bo.:	José Alejandro Bernal Mejía Coordinador del Proyecto	Rodrigo Jiliberto Director del Proyecto	Fecha de aprobación:
		Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	7 de septiembre de 2016

Este Diagnóstico subsectorial de vulnerabilidades y cálculo de riesgos derivados de los impactos asociados al cambio climático y a la variabilidad climática en la industria de hidrocarburos ha sido preparado por INERCO Consultoría Colombia, antes Ambiental Consultores & Cía. Ltda. (ACON), con un conocimiento razonable y con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con el Ministerio de Minas y Energía.

INERCO Consultoría Colombia niega alguna responsabilidad con el Ministerio de Minas y Energía y con terceros al respecto de cualquier materia fuera del alcance anterior. Este informe es confidencial e INERCO Consultoría Colombia no acepta ninguna responsabilidad en absoluto, si otros tienen acceso a parte o la totalidad del informe.

Anotaciones:



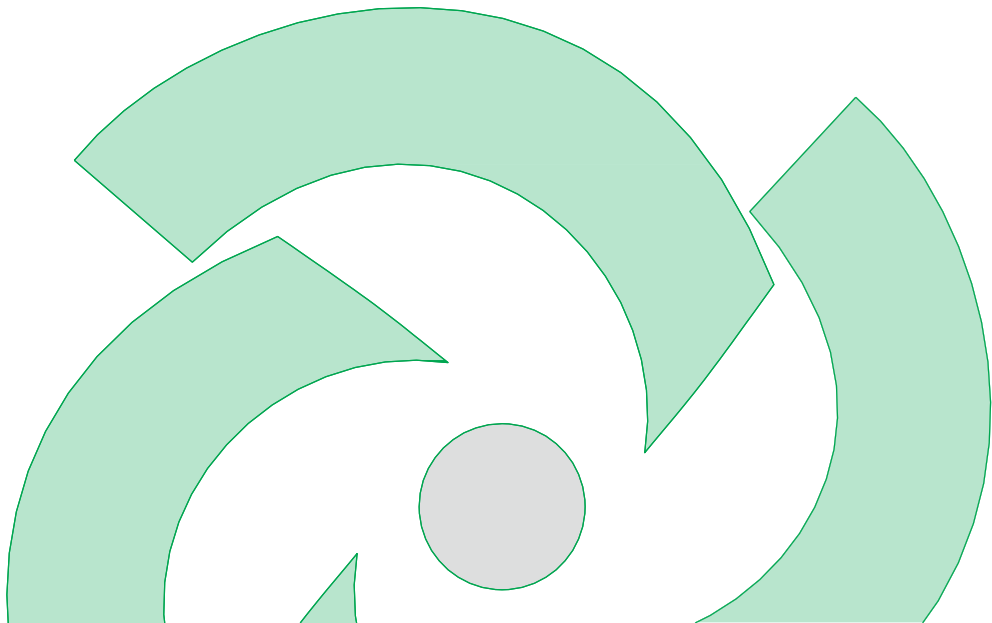
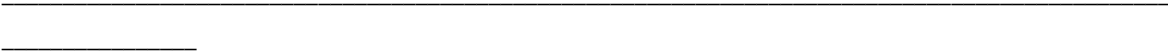


TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
1. Línea Base del sistema hidrocarburos en colombia.....	4
1.1 Áreas de análisis y delimitación del sistema de hidrocarburos.....	4
1.1.1 Descripción del sistema a nivel organizacional	5
1.1.2 Descripción de la cadena productiva y operativa	6
1.2 Articulación con instrumentos de planificación	8
1.3 Identificación de actores y sus capacidades.....	9
1.4 Identificación de eventos derivados del cambio y la variabilidad climática relevantes para el análisis de vulnerabilidad y riesgos del sector de los hidrocarburos.....	11
1.4.1 Revisión Internacional.....	12
1.4.2 Revisión Nacional.....	14
2. Escenarios prospectivos de los eventos derivados del cambio y la variabilidad climática	16
2.1 Susceptibilidad virtual de ocurrencia de los subeventos seleccionados.....	16
2.2 Posibilidad prospectiva de cambio y variabilidad climática.....	17
2.2.1 Cambio climático	17
2.2.2 Variabilidad climática.....	18
2.3 Mapas de posibilidad prospectiva de eventos bajo influencia del cambio y la variabilidad climática	19
2.3.1 Metodología de cruce de mapas de susceptibilidad virtual de ocurrencia de los eventos con mapas de escenario de cambio y variabilidad climático para la generación de mapas de posibilidad prospectiva de eventos.....	19
3. Calculo del Riesgo para el sistema del sector de los hidrocarburos derivadas de los eventos derivados del cambio y la variabilidad climática	21
3.1 Amenazas para el sistema del sector de los hidrocarburos derivadas de los eventos derivados del cambio y la variabilidad climática.....	22
3.1.1 Potencial y Nivel de Amenaza del Daño	22
3.1.2 Nivel de Amenaza del Sistema.....	23

3.2	Vulnerabilidad del sector hidrocarburos en Colombia.....	24
3.2.1	Vulnerabilidad del sistema del sector de hidrocarburos	24
3.2.2	Vulnerabilidad del entorno del sistema del sector de hidrocarburos	27
3.3	Riesgo prospectivo del sistema de sector de los hidrocarburos ante el cambio y la variabilidad climática	28
4.	Oportunidades de Adaptación y Estrategias de beneficio a nivel internacional.....	29
4.1	Oportunidades de Adaptación a nivel internacional.....	29
4.1.1	Timor Oriental.....	29
4.1.2	Noruega.....	30
4.1.3	Estados Unidos	30
4.1.4	Canadá	31
4.2	Estrategias para el Beneficio de la Industria de Hidrocarburos.....	31
4.2.1	Mejores Prácticas de la Industria en Acciones de Adaptación	31
	BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1 Actores relevantes identificados para el proceso de formulación del plan de adaptación al Cambio Climático.....	9
Tabla 1-2 Clasificación de actores para la adaptación al cambio climático en el subsector hidrocarburos.....	11
Tabla 1-3 VCE que se mencionan frecuentemente en la literatura, relacionada con la industria de hidrocarburos	13
Tabla 1-4 Segmentos y subsegmentos.....	13
Tabla 3-1 Matriz para calificación Nivel de Amenaza del Daño.....	23
Tabla 3-2 Matriz para calificación nivel de riesgo	29

INTRODUCCIÓN

El documento corresponde al resumen ejecutivo en el marco del Contrato 257 de 2016, firmado entre el Ministerio de Minas y Energía e INERCO Consultoría Colombia Ltda., con el objeto de “Elaborar un diagnóstico subsectorial de vulnerabilidades y cálculo de riesgos derivados de los impactos asociados al Cambio Climático y a la Variabilidad Climática en la Industria de Hidrocarburos”.

Este resumen presenta brevemente la metodología propuesta y desarrollada por esta consultoría, la cual está fundamentada en el desarrollo de los objetivos planteados por el Ministerio de Minas y Energía en los Términos de Referencia definidos en el contrato ya mencionado y los lineamientos establecidos en las Etapas I y II de la Hoja de Ruta para la Elaboración de Planes de Adaptación dentro del Plan Nacional de Adaptación Al Cambio Climático, elaborada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Departamento Nacional de Planeación.

1. LÍNEA BASE DEL SISTEMA HIDROCARBUROS EN COLOMBIA

De acuerdo a la Hoja de Ruta para la Elaboración de Planes de Adaptación dentro del Plan Nacional de Adaptación Al Cambio Climático (MinAmbiente y DNP), la identificación de la línea base del sistema hidrocarburos en Colombia se realizó con el objetivo de entender en su totalidad el sistema y sus componentes. Así pues, se describió el sistema a nivel organizacional y de la cadena productiva y operativa, se identificaron los instrumentos de articulación relevantes para el sector y se realizó una descripción e identificación de actores del sistema hidrocarburos y sus respectivas capacidades.

1.1 Áreas de análisis y delimitación del sistema de hidrocarburos.

Se entiende que el sector hidrocarburos corresponde a un sistema que funciona en un entorno para la generación de valor en los procesos extractivos, productivos y comerciales del petróleo en Colombia. Para comprender dicho funcionamiento, el análisis abordó el sistema para describirlo a nivel organizacional y operativo, específicamente la cadena productiva, con base en la división y asignación territorial dada por el Mapa de Tierras de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (Junio de 2016).

Para delimitar el análisis del sistema del sector de hidrocarburos en Colombia, se caracterizaron las áreas del Mapa de Tierras de la ANH. Actualmente, en estas se desarrollan las diferentes actividades del sistema de hidrocarburos, y son las siguientes:

- Áreas de Evaluación y Exploración: comprenden las áreas correspondientes a los contratos de Evaluación Técnica (TEA) y de exploración y producción (E&P) o de asociación que se encuentren en la fase de exploración. Estas áreas comprenden territorios marítimos o costa afuera y territorios continentales.
- Áreas de Producción: comprenden las áreas correspondientes a los contratos de exploración y producción (E&P) o de asociación y/o concesión que se encuentren en la fase de producción. Estas áreas comprenden territorios marítimos o costa afuera y territorios continentales.
- Áreas Disponibles: son aquellas que no han sido objeto de asignación, de manera que sobre ellas no existe contrato vigente ni se ha adjudicado alguno. Sin embargo, cuentan con algún grado de análisis que permite que sean atractivas en un futuro cercano para

empresas en su labor de exploración y producción. También comprenden áreas marítimas y continentales.

- Áreas de Transporte: éstas son las áreas de influencia del sistema de transporte de crudo por ductos u oleoductos y del sistema de transporte de gas por gasoductos, incluidas las subestaciones de bombeo y control y la infraestructura de almacenamiento. También se considera el sistema de vías terrestres que son más utilizados en el país para el transporte de crudo por carrotanques.
- Áreas de Infraestructura Costera de Hidrocarburos: para determinar la posible afectación de puertos de importación y exportación de hidrocarburos así como de infraestructuras de refinación costera, se definieron dos áreas de análisis costero, una en el mar Caribe y otra en el océano Pacífico.

1.1.1 Descripción del sistema a nivel organizacional

1.1.1.1 Administrativo y financiero

Comprende todos los aspectos que conforman el sistema administrativo tales como dirección, planeación y procesos de toma de decisiones, identificación de objetivos y metas de producción y financieras, distribución de responsabilidades y labores, ejecución de los objetivos y las metas, control y verificación del correcto seguimiento a los planes trazados.

1.1.1.2 Recursos humanos

Abarca la gestión del personal operativo y administrativo vinculado, de manera directa o indirecta, en las diferentes etapas de la cadena de valor de los hidrocarburos.

1.1.1.3 Cadena de suministros

Incluye a todos los proveedores que satisfacen las diferentes necesidades de la industria en cada una de sus actividades, como lo son: logística de acomodación, transporte y alimentación del personal, logística de insumos y materiales, seguridad de las instalaciones y del perímetro, equipos de transporte suministro de maquinaria pesada de construcción y maquinaria de manutención, asistencia médica, entre otros.

1.1.1.4 Cadena productiva y operativa

Abarca todas las actividades propias de la generación de valor en el sector. Estas comprenden: Exploración (continental y no continental), Producción (convencional, no convencional y offshore), Transporte (ductos y carreteras) e Infraestructura costera (refinación, exportación e importación). La descripción de esta cadena se realizará en el numeral 1.1.2.

1.1.1.5 Gestión ambiental

Conjunto de procesos para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente para la actividad, así como el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental que hayan sido fijados por las autoridades ambientales (ANLA, Corporaciones Autónomas Regionales) a través de herramientas como la Licencia Ambiental o los Planes de Manejo Ambiental.

1.1.1.6 Entorno social, ambiental y de gobernabilidad

Las actividades hidrocarburíferas tienen lugar en un entorno social, territorial institucional y de gobernabilidad complejo. El entorno puede, en ocasiones, facilitar o hacer más compleja la gestión de amenazas.

1.1.2 Descripción de la cadena productiva y operativa

La cadena productiva y operativa se entiende como los procesos extractivos, productivos, de transporte y de infraestructura costera. A continuación se presenta su descripción:

1.1.2.1 Componente extractivo

Es el núcleo del negocio hidrocarburífero. Sus actividades se dividen en extracción continental (*onshore*) y extracción costa afuera (*offshore*).

La *extracción continental* comprende todas las actividades de Evaluación y exploración superficial para determinar la riqueza hidrocarburífera de una zona deseada. Asimismo, abarca la perforación y conformación de pozos angostos (*slim holes*) y pozos convencionales con propósitos de exploración, producción, inyección, etc., los cuales son sometidos a procedimientos de cementación y el revestimiento del pozo para evitar impactos ambientales y eventos que afecten la operación. Los métodos de extracción o producción de petróleo y

gas de un yacimiento están directamente relacionados con la fase en la cual se encuentre la explotación del yacimiento: Por lo general, un yacimiento tiene tres (3) fases de vida: 1. Producción emergente (presión natural del yacimiento) 2. Producción por presión artificial (inyección de agua o gas) y 3. Agotamiento o producción marginal (yacimientos no convencionales - estimulación hidráulica o fracking)

Por su parte, la *extracción costa afuera* comprende las actividades necesarias para obtener el hidrocarburo en cuerpos de agua, áreas marítimas, lagos o lagunas. Requiere la construcción de plataformas de perforación, las cuales varían desde barcos y barcasas flotantes hasta plataformas fijas sobre soportes de acero (aguas poco profundas y plataformas de gravedad de gran tamaño para aguas profundas). La evaluación y exploración superficial subacuática se realiza a través de mediciones superficiales de tipo aéreo o satelital y para los estudios sísmicos en el mar se utiliza disparos aéreos. Por su parte, la perforación de pozos en el mar sigue bases semejantes a la de tierra firme.

1.1.2.2 Componente de tratamiento

Una vez es extraído el hidrocarburo del subsuelo es necesaria su recolección y tratamiento, a través de *líneas de recolección*, que consisten en un arreglo de tuberías y válvulas empleadas para recolectar la producción de los diferentes pozos que llegan a las estaciones de flujo y distribuirla hacia los diferentes procesos del sistema para su tratamiento.

El tratamiento consiste en la *separación* por procesos físicos de gas, agua, sedimentos e impurezas. El proceso continua con una *depuración* del gas para recuperar partículas de hidrocarburo suspendidas e incorporarlas en la cadena de lavado o almacenamiento. Estos procesos pueden completarse por medio del *calentamiento* para garantizar la separación de la emulsión agua – petróleo, la cual se somete a un proceso de *deshidratación* para extraer las arenas que vienen desde los pozos. Luego, el petróleo es enviado a los tanques de almacenamiento y el agua a los dispositivos de tratamiento. El producto resultante es recolectado en los tanques de almacenamiento y, luego, es transferido a los patios de tanque para su posterior envío a las refinerías o centros de despacho a través de bombas de transferencia

Este proceso produce grandes cantidades de agua, que debe ser tratada mediante procesos de separadores, para minimizar su contaminación.

1.1.2.3 Componente de transporte

El petróleo se dirige hacia las refinerías para su procesamiento, o puertos para su embarque y exportación a través de oleoductos que recorren el país desde los diferentes puntos de producción hasta su destino final. El gas natural es transportado desde los diferentes yacimientos hasta los centros poblados para su distribución y consumo, mediante ductos denominados gasoductos. En ocasiones, el 5 % de la producción de petróleo es transportada a través de carrotanques, ya sea para su destino final o para ser inyectada posteriormente a un oleoducto. Finalmente, en determinadas zonas, el petróleo puede transportarse a través de barcazas por las grandes vías fluviales como el río Magdalena.

1.1.2.4 Componente de Infraestructura Costera

La infraestructura costera corresponde a las refinerías y puertos donde se realizan actividades de generación de combustibles y de comercialización de los productos. En estos complejos industriales se realiza la separación física y química de la gran variedad de componentes que contiene el petróleo crudo, como naftas, kerosene, diésel, aceites pesados y lubricantes, entre otros. Para efectos de esta consultoría, se entenderán los procesos de refinación, exportación e importación de hidrocarburos como todas aquellas actividades realizadas por la Infraestructura Portuaria.

1.2 Articulación con instrumentos de planificación

Teniendo en cuenta que la planeación y la gestión de largo plazo son fundamentales para la reducción de impactos negativos asociados al cambio climático y la variabilidad climática y para cumplir con las metas nacionales de exploración y producción de hidrocarburos, es necesario identificar los instrumentos nacionales, regionales y/o locales de planificación de acuerdo a la delimitación realizada en el paso anterior, los cuales deben abordar todos los ámbitos y temas relevantes que conduzcan a establecer acciones de desarrollo sostenible en el sector tomando como referencia las proyecciones del cambio climático y la influencia de la variabilidad climática.

Como primera instancia, se realiza la identificación de instrumentos de planificación sectoriales, los cuales son de alcance nacional del sector energético y son aplicables a todos los agentes y regiones del país. Así pues, la política energética colombiana enfatiza en la consecución de nuevas fuentes energéticas enmarcada dentro de varios instrumentos como

lo son: el Plan Energético Nacional 2050 (PEN), el Plan Indicativo de Abastecimiento de Gas Natural 2016 (PIAGN) y el Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos 2016-2036.

Por su parte, los planes regionales analizan, entre otros factores, las actividades económicas que caracterizan estas regiones para así determinar los posibles impactos económicos del cambio climático. Considerando el posible impacto de los planes territoriales en el desarrollo del sector hidrocarburos, se realizó una revisión del Plan de Adaptación de Cartagena y el Plan de Adaptación del Departamento del Huila.

1.3 Identificación de actores y sus capacidades

La identificación de los actores en el ámbito académico, investigativo, formuladores de política y miembros de la sociedad civil, instituciones, comunidades, entre otros; y las funciones que ejercen en el proceso de formulación del Plan de Adaptación, se realizó mediante el análisis de información existente. Además, se implementaron entrevistas semiestructuradas para determinar sus capacidades y compararlas con las requeridas para el proceso de formulación, así como para definir mecanismos de articulación y estrategias efectivas para complementar sus competencias y reforzar su función en dicho proceso, con base en el Cuadro 3 del Capítulo 1.1.3 de la Hoja de Ruta para la Elaboración de los Planes de Adaptación dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

Como producto de la identificación de actores en conjunto con el MinMinas y la consecuente aplicación de entrevistas, se identificaron diecisiete actores relevantes para la formulación del plan de adaptación al cambio climático en el subsector hidrocarburos y su posterior implementación (Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Actores relevantes identificados para el proceso de formulación del plan de adaptación al Cambio Climático

Tipo de actor	Denominación
Sectorial	1. Ministerio de Minas y Energía (MinMinas)
	2. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)
	3. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)
Consejo Coordinador del PNACC	4. Departamento Nacional de Planeación (DNP)
	5. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)
	6. Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)
	7. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Sector	8. Empresa Colombiana de Petróleo (Ecopetrol)

empresarial	9. Cenit, transporte y logística de hidrocarburos (Cenit)
	10. Oleoducto Central S.A. (Ocensa)
Autoridades de licenciamiento y control ambiental	11. Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR)
	12. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)
Gremios	13. Asociación Colombiana del Petróleo (ACP)
	14. Cámara de Bienes y Servicios Petroleros (Campetrol)
Entes de investigación	15. Departamento Administrativo de Ciencias, Tecnología e Innovación (Colciencias)
Cooperación internacional	16. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Otros actores	17. Trabajadores de la industria de hidrocarburos

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016.

Estos se clasificaron según su pertenencia en cada uno de los cuatro grupos ponderando sus cualidades de interés y su capacidad de acción frente al proceso de adaptación sectorial.

Es importante mencionar que la valoración aplicada a los actores obedece a las características que ellos presentan en su estado actual y dentro del contexto en donde se desenvuelven. En la medida que en el futuro se definan y prioricen medidas específicas de adaptación al cambio climático y se establezcan responsables determinados para su aplicación, es posible que ciertos actores se desplacen y pasen a pertenecer a otros cuadrantes. Esto podría ocurrir en el caso de los actores del sector privado, que podrían ser los principales agentes de implementación de medidas de adaptación.

Tabla 1-2 Clasificación de actores para la adaptación al cambio climático en el subsector hidrocarburos

Grupo de actores	Poder o Capacidad de Acción	Rol esperado	Composición
Estratégicos	Mayor poder o capacidad de acción frente a la adaptación al cambio climático en el sector y que, a su vez, cuentan con mayor interés en el proceso	Incorporados en todo el proceso de formulación del plan.	<ul style="list-style-type: none"> • MADS • MinMinas • DNP • UPME • ANH • IDEAM • UNGRD • Ecopetrol • Ocesa
Políticos	Alto poder o capacidad de acción frente a la adaptación al cambio climático; pero sus intereses no se encuentran exclusivamente determinados por el proceso	Interlocutores en la formulación del plan, según la función específica que tengan para ese fin	<ul style="list-style-type: none"> • ANLA • CAR • UNDP • Campetrol • ACP
De relacionamiento	Alto interés frente a la adaptación al cambio climático en el sector; pero su capacidad de acción es menor en comparación con los otros actores	Participación en la formulación del plan es necesaria y también brindar acompañamiento, de ser necesario, en la futura implementación de las medidas	<ul style="list-style-type: none"> • Cenit
De monitoreo	Menor capacidad de acción y menor interés en el proceso	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajadores de la industria

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016

1.4 Identificación de eventos derivados del cambio y la variabilidad climática relevantes para el análisis de vulnerabilidad y riesgos del sector de los hidrocarburos

Se revisó la literatura y el estado del arte a nivel internacional de los principales eventos y subeventos¹ derivados del cambio y la variabilidad climática que hayan afectado al sector de

¹ De manera operativa, se entiende como evento a la modificación de temperatura o precipitación derivadas del cambio climático estimadas de forma convencional en los escenarios de cambio climático.

los hidrocarburos en cualquier fase de su ciclo de vida. Posteriormente, se determinaron aquellos eventos, subeventos y efectos que resulten relevantes para la realidad del país y del sistema de hidrocarburos nacional, constituyéndose en el eje de los análisis posteriores.

1.4.1 Revisión Internacional

El cambio climático genera numerosos riesgos y oportunidades de beneficio para la industria de los hidrocarburos en términos de mitigación y adaptación. Este tendrá una incidencia significativa sobre las operaciones e infraestructura de la industria a nivel físico, cambios en la demanda, en la regulación y las dinámicas de comportamiento de los inversionistas.

El riesgo sobre la infraestructura, operación y mano de obra del sector de hidrocarburos a nivel internacional se materializa por la exposición a los efectos del clima, por varias razones:

- Dependen de infraestructura que requiere altas inversiones de capital y que se caracterizan por ser de vida útil bastante larga;
- La mayoría de operaciones se llevan a cabo en regiones muy vulnerables al cambio climático, entre ellos el Ártico, ambientes marinos y países en desarrollo;
- Tienen amplias redes de transporte del producto y se basan en cadenas de suministro complejas y extensas, razón por la que la operación se considera bastante vulnerable a la interrupción;
- En los países en desarrollo, dependen de la fuerza de trabajo y las comunidades que son vulnerables geográfica y socio-económicamente al cambio climático; y
- El legado de la contaminación, que han dejado las actividades históricas, es un problema ambiental muy importante para la industria de hidrocarburos, y existe la posibilidad de que los impactos ambientales asociados con el cambio climático aumenten los riesgos de contaminación y hagan que los entornos frágiles se acentúen aún más.

Los riesgos generados por eventos asociados al cambio climático en la industria se evalúan, normalmente, siguiendo tres pasos fundamentales: 1. Identificación de impactos; 2. Identificación de la relación de impactos y receptores de riesgo; y, 3. Evaluación de Riesgo.

Igualmente, de forma operativa se entienden como subeventos a los efectos climatológicos o naturales que esos eventos generan, olas de calor, vendavales, inundaciones, deslizamientos de tierra, elevación del nivel del mar, entre otros. De facto son los su eventos lo que constituyen las amenazas directas para cualquier elemento del sistema de hidrocarburos.

Se realizó una revisión de las Variables Climáticas Esenciales (VCE)² comúnmente conocidas mediante la evidencia de publicaciones científicas, estudios desarrollados por una serie de organizaciones específicas del sector de hidrocarburos (p. ej.: IPIECA) y el concepto de diferentes expertos. Se identificaron las 14 variables climáticas esenciales que se mencionan habitualmente en la literatura, ya sea directamente por su nombre, o indirectamente (p. ej.: el aumento de tormentas se menciona en la literatura, sin embargo, esto no es un nombre explícito en las VCE). En los casos de referencia indirecta a una VCE, el juicio de los expertos se ha utilizado para distribuir la amenaza climática a la VCE más relevantes. Las 14 VCE más comúnmente mencionadas, se muestran en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3 VCE que se mencionan frecuentemente en la literatura, relacionada con la industria de hidrocarburos

Ámbito	Contexto	VCE
Atmosférico	Superficial	Temperatura atmosférica, velocidad y dirección del viento y precipitación.
	Atmósfera superior	Ninguno.
	Composición	Ninguno.
Oceánico	Superficial	Temperatura de la superficie marítima, nivel del mar, estado del mar, hielo marino y acidez oceánica.
	Subsuelo	Ninguno.
Terrestre		Descargas a ríos, agua subterránea, lagos, capa de hielo, permafrost e incendios.

Fuente: Acclimatise Group Ltd., 2016. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2016.

Por medio de una matriz de impactos y de revisión de la literatura, se determinó la incidencia de las 14 VCE (Tabla 1-4) sobre los segmentos y subsegmentos del sector de hidrocarburos.

Tabla 1-4 Segmentos y subsegmentos

² Las VCE se encuentran disponibles para consulta en el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC).

Componentes	Subcomponentes
Exploración	Continental y offshore
Producción	Convencional, no convencional y offshore
Transporte	Oleoductos y carreteras
Refinación	Refinación (incluyendo partes en envío)

Fuente: Acclimatise Group Ltd., 2016. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2016.

Por medio de la identificación de la frecuencia de relación entre las VCE y los diferentes impactos de cambio climático y de la cuantificación de impactos sobre los componentes y subcomponentes del sector hidrocarburos, se determinó que los indicadores principales son la temperatura atmosférica, el aumento del nivel del mar, la temperatura superficial del mar y la precipitación.

Además de los riesgos físicos asociados con el cambio climático expuestos anteriormente, también es importante considerar las directrices normativas y de mercado. Relativamente, las regulaciones de mitigación están más desarrolladas en comparación con las asociadas a la adaptación. Sin embargo, hay una creciente presión global de divulgar material sobre los riesgos del cambio climático como parte de la presentación de informes de desempeño de la empresa.

Las normas de desempeño IFC y los Principios de Ecuador requieren que el cambio climático sea considerado dentro de los procedimientos de gestión del riesgo financiero.

1.4.2 Revisión Nacional

Teniendo en cuenta lo presentado anteriormente y reconociendo que los subeventos no ocurren individualmente y que pueden exhibir efectos compuestos, resulta conveniente dividir tanto los efectos de los posibles eventos, como los componentes del sistema para la identificación y el análisis de eventos pertinentes para el contexto colombiano.

El análisis realizado se enfoca en procesos y puntos críticos en la industria de hidrocarburos que pueden verse afectados por la manifestación de fenómenos derivados del cambio y la variabilidad climática, identificando áreas a priorizar o fenómenos a monitorizar. Este estudio divide los efectos de los eventos en dos grandes niveles de afectación: sobre el sistema y sobre el entorno, y considera los impactos o amenazas sobre componentes individuales del sistema (exploración, producción, refinación).

La selección de eventos relacionados con el clima se realizó teniendo en cuenta los registros en la base de datos EmDat (EM-DAT, 2015) y los datos de la base DESINVENTAR, que contiene el número y proporción de eventos registrados entre 1914 y 2015. Igualmente, se consultó la base de datos de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres para determinar el número de emergencias en Colombia asociados a eventos climáticos.

Se seleccionó y priorizó los eventos a considerar a partir de criterios como la recurrencia del evento, la influencia del cambio climático sobre su ocurrencia o características, la sensibilidad del sistema de hidrocarburos o alguno de sus componentes frente al evento y la gravedad o posibilidad de impacto sobre el sistema.

Igualmente, en el primer taller de socialización del proyecto, realizado el 1 de septiembre de 2016, se solicitó a un comité de expertos, realizar una discusión interna sobre la pertinencia de estos eventos en el contexto colombiano y se indagó la posibilidad de incluir algún evento adicional. Así pues, se pudo verificar que los eventos que más han impactado la industria de hidrocarburos en Colombia son la inundación y la remoción en masa, con una gravedad media moderada y grave respectivamente. Estos eventos impactan parcialmente a la industria, aunque las inundaciones afectan en una mayor proporción de la cadena de valor del sector hidrocarburos que la remoción en masa.

Asimismo, los consultados afirmaron que las amenazas más representativas afectan el cumplimiento de metas productivas por parte del sector, suspensión de actividades, incremento de costos y disminución de ingresos asociados a gestión logística tanto de personal, como de materiales e insumos requeridos por la industria de hidrocarburos y la afectación o pérdida de infraestructura como ruptura de ductos o infraestructura puntual.

Finalmente, se seleccionaron los siguientes eventos para analizar las diferentes amenazas generadas sobre el sistema de hidrocarburos en el contexto Colombiano:

- Disponibilidad de Agua – sequía
- Inundaciones
- Remoción en masa
- Incendios forestales
- Aumento de temperatura (que incorpora olas de calor)
- Aumento del nivel del mar y eventos relacionados
- Tormentas y huracanes

2. ESCENARIOS PROSPECTIVOS DE LOS EVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Con base en los eventos y efectos identificados en el capítulo anterior, se procedió a realizar la caracterización de los más relevantes para la realidad del sistema de hidrocarburos en Colombia, que consiste en describir el comportamiento de estos en los escenarios de cambio y de variabilidad climática. Para esto, se definió en primera instancia una susceptibilidad virtual de ocurrencia de los subeventos, acompañada de la conformación de los escenarios prospectivos de cambio y variabilidad climática, que se presenta a continuación.

2.1 Susceptibilidad virtual de ocurrencia de los subeventos seleccionados

La susceptibilidad virtual de ocurrencia de los eventos debe ser entendida como la plausibilidad que existe de que un evento ocurra en determinada área sin que indique que necesariamente tenga que ocurrir.

Esta se representa a través de mapas generados a partir de información oficial de susceptibilidad y amenaza ante los eventos seleccionados, la cual se consultó a fuentes oficiales preservando su forma original, excepto en los casos en que es necesario ajustarla a las categorías planteadas o es necesario una modelación. Actualmente, organismos oficiales cuentan con información en formatos shape, gdb, ráster u otros formatos con capacidad de geolocalización por medio de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), tales como el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), el SGC (Servicio Geológico Colombiano), el INVEMAR (Instituto de investigaciones marinas y costeras), DIMAR (Dirección General Marítima), el IGAC (Instituto geográfico Agustín Codazzi), el NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y estudios como el informe GAR (Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, 2015), desarrollado por la oficina de la reducción del riesgo de las Naciones Unidas.

Dicha información consultada, refleja la probabilidad de ocurrencia de los eventos sobre el territorio nacional. El modelo original es reclasificado en función de la probabilidad de ocurrencia relativa de los eventos, en una escala cualitativa, desde muy bajo, en sitios donde es poco factible esperar la manifestación del fenómeno, hasta 5, donde es muy factible que se presente el fenómeno.

Los mapas de susceptibilidad virtual se presentan empleando las convenciones oficiales definidas por la fuente de información o entidad responsable de cada temática, razón por lo que se presenta una misma categorización con diferentes gamas de colores.

2.2 Posibilidad prospectiva de cambio y variabilidad climática

Con el objetivo de identificar las principales amenazas que tendría el cambio climático y la variabilidad climática sobre el sector de hidrocarburos, se realiza un análisis del Cambio Climático en términos de las proyecciones de temperatura, precipitación, altura sobre el nivel del mar realizados para Colombia, y un análisis de la variabilidad climática determinada por los históricos donde han ocurrido los fenómenos de El Niño y de La Niña para obtener los datos de las variables mencionadas anteriormente.

2.2.1 Cambio climático

El Cambio Climático es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables³, según la definición de La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En el análisis de cambio climático se ha utilizado la información presentada en 2015 por el IDEAM en el informe denominado “Escenarios de Cambio Climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100”, el cual está alineado con los nuevos escenarios de forzamiento radiativo planteados por el IPCC en el Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés).

En el informe en mención se presentaron los nuevos escenarios de Cambio Climático para Colombia, los cuales contienen las proyecciones de temperatura y precipitación a nivel nacional para tres (3) periodos: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 respecto al periodo 1976-2005; en cada periodo se evaluaron las cuatro trayectorias de concentración representativas (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5) propuestas por el IPCC, para el caso específico se ha evaluado el promedio de los cuatro escenarios de forzamiento radiativo del periodo 2011-2040 por ser el escenario con menor incertidumbre, producto de un menor dispersión en los datos analizados debido a la convergencia entre los supuestos.

³ NACIONES UNIDAS. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 1992. pp. 3.

En general, para periodo 2011-2040 se espera en el mayor porcentaje del territorio Colombiano un cambio Bajo Medio (0,51-1,0 °C) en la temperatura, Medio (1,1-1,5 °C) hacia Norte (en algunas áreas de La Guajira, Atlántico, Magdalena, Cesar, Cesar, Sucre, Bolívar, Córdoba y Norte de Santander), Costa Pacífica (Choco, Antioquia, Valles del Cauca, Cauca y Nariño) y Oriente del departamento de Vichada y Bajo (0,0-0,5 °C) en un gran porcentaje de la zona de cordillera y no se presentan cambios Alto (2,1-3,9 °C) y Medio Alto (1,51-2,0 °C) para el periodo en análisis.

En cuanto a la precipitación, en el periodo 2011-2040 se espera un nivel de Déficit Severo (≤ 40 %) en un área del departamento de Magdalena y La Guajira; Déficit (-39 % y -11 %) en algunas áreas de Amazonas, Vaupés, Guainía, Caquetá, Putumayo, Bolívar, Magdalena, Cesar, Atlántico, La Guajira y Norte de Santander; Normal (-10 % y 10 %) en el mayor porcentaje del país y Exceso (11 % y 39 %) en el mayor porcentaje de la región Andina.

2.2.2 Variabilidad climática

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. En particular durante un año se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La normal climatológica, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años⁴. Asimismo, en la escala de variabilidad interanual en el océano Pacífico tropical son posibles tres condiciones: El Niño (calentamiento extremo), condiciones normales y La Niña (enfriamiento extremo). El Ciclo conocido como El Niño y La Niña, es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual⁵.

En el análisis de variabilidad climática se ha utilizado la información presentada en 2014 por el IDEAM en el informe denominado "Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña

⁴ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de MESO y gran escala. Bogotá D.C.: 2009. pp. 7.

⁵ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá D.C.: 2014. pp. 196.

en Colombia”, en el cual se realizó un análisis de variabilidad climática utilizando los registros de la red de estaciones meteorológicas operadas por el IDEAM desde 1950 hasta 2013, teniendo en cuenta que existen datos de anomalías de la temperatura superficial del mar en la región central (Niño-3) del océano Pacífico tropical desde el año 1950 .

La temperatura media del aire durante El Niño típico presenta un aumento generalizado prácticamente en todo el territorio Colombiano, ya que en todas las regiones se presentan anomalías positivas superiores a 0,2 °C; en la regiones Andina, Caribe y Pacífica se presentan anomalías de calentamiento severo (> 0,5 °C) y en un bajo porcentaje del territorio las condiciones son normales. Respecto a La Niña se observan descensos importantes (enfriamiento severo) en la temperatura media del aire en la mayor parte de las regiones Andina, Caribe y Pacífica; en la región de la Orinoquia y el piedemonte Amazónico las anomalías negativas son menos acentuadas, oscilan solamente entre 0,2 y 0,5 °C y hacia la parte media de la Orinoquia (Casanare, Vichada, Meta, Guaviare y Guañía) se presenta el mayor porcentaje de condiciones normales.

La precipitación anual durante El Niño registra condiciones normales (80 -120 %) en el mayor porcentaje del área del país y déficits (40-80 %) en buena parte de las regiones Caribe y Andina, siendo Atlántico, La Guajira, Magdalena y Cesar, así como algunos municipios del norte y sur de Bolívar y el oriente de Sucre la zonas más afectadas en la región Caribe. Respecto al comportamiento de la precipitación durante La Niña, la condición más probable es la ocurrencia de un aumento de las lluvias en la mayor parte de las regiones Caribe y Andina. En los departamentos de La Guajira, Magdalena, Bolívar y Norte de Santander se presentan excedentes severos (>160 %), asimismo, en el mayor porcentaje de la región Caribe y Andina se presentan solo excedentes (120-160%) y en el mayor porcentaje del territorio las condiciones son de normalidad (80 -120 %).

2.3 Mapas de posibilidad prospectiva de eventos bajo influencia del cambio y la variabilidad climática

2.3.1 Metodología de cruce de mapas de susceptibilidad virtual de ocurrencia de los eventos con mapas de escenario de cambio y variabilidad climático para la generación de mapas de posibilidad prospectiva de eventos

Algunos eventos como la disponibilidad de agua (sequía), incendios forestales e inundaciones y deslizamientos no cuentan con la evaluación directa frente al cambio climático y variabilidad climática, por ello, en el presente estudio se plantea una metodología

para el análisis de estos teniendo en cuenta los mapas de temperatura y precipitación realizados por el IDEAM para el estudio del cambio climático (Escenarios de Cambio Climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100) y la variabilidad climática (Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico) y los mapas de susceptibilidad o amenaza relacionados con el evento objeto de análisis realizados por entidades oficiales.

Inicialmente la reclasificación de los mapas de temperatura y precipitación se abordan a partir de la categorización realizada por el IDEAM en cada estudio, cambio climático y variabilidad climática. En el caso del cambio climático se puede observar que la temperatura siempre aumenta y que la precipitación puede aumentar o disminuir de acuerdo al escenario seleccionado; mientras que en los escenarios de la variabilidad climática ambas variables climáticas pueden aumentar o disminuir.

Ahora bien, los parámetros como la temperatura y la precipitación afectan la zonificación de referencia de susceptibilidad y amenaza ante los diferentes eventos analizados. A continuación se presentan los criterios de cruce y definición de escalas para cada evento:

Disponibilidad del agua - Sequía: Para los escenarios de cambio climático y variabilidad climática respectivamente, reducciones de temperatura tienden a suavizar el efecto del fenómeno, mientras aumentos, tienden a acentuarlo. Operativamente, debe modificarse el mapa de zonificación, primero por temperatura, y luego por precipitación, utilizando el criterio descrito, en el cual la reclasificación toma valores entre Muy Bajo y Muy Alto.

Inundaciones y Remoción en Masa: La variabilidad de la precipitación aumenta o disminuye los niveles actuales de susceptibilidad/amenaza. En este caso, operativamente se maneja igual para el escenario de cambio climático y variabilidad climática dada la similitud entre la clasificación cualitativa de la precipitación.

Aumento de temperatura (Olas de Calor): Este evento no cuenta con un mapa de susceptibilidad, por tanto, su valoración se realizó directamente con los datos de temperatura de los escenarios de cambio climático y variabilidad climática, debido a la proporcionalidad del evento al cambio con la variable.

Incendios forestales: Una variación positiva de la temperatura tiende a aumentar la susceptibilidad, mientras que variaciones positivas en precipitación tienden a reducirla, según

el Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal (IDEAM, 2011), estas dos variables juegan un papel importante tal como se ha descrito.

Aumento del nivel del mar: El aumento de temperatura genera una tendencia al aumento de la susceptibilidad por aumento de nivel del mar, a partir de los valores obtenidos de la reclasificación realizada para este estudio a los datos disponibles de la CEPAL (CEPAL, sf). En promedio, el aumento en el nivel de mar en el Pacífico es mucho menor en comparación con el Caribe.

Este evento no aplica en variabilidad climática, debido a que la información disponible corresponde a territorio continental.

Tormentas y Huracanes: Los huracanes requieren alta humedad, vientos relativamente constantes a diferentes altitudes y pueden ocurrir cuando la superficie del océano excede aproximadamente los 26°. El aumento de la temperatura ayuda a potenciar el evento. En una escala de tiempo interanual, no se ha establecido una relación positiva entre la superficie del nivel del mar y la frecuencia de ciclones tropicales (Nicholls, 1984; Raper, 1992; Chau and Liu, 2004). La excepción a esta situación es el Atlántico Norte, donde se ha establecido que la temperatura superficial del mar es uno de los factores que más impacto tienen en el número y severidad de los ciclones (Shapiro, 1982; Raper 1992, Shapiro and Goldenberg, 1998; Landsea et al, 1998). No obstante, no se han establecido relaciones para otras cuencas oceánicas.

Dado que el área de interés para la evaluación de las afectaciones por huracanes y tormentas tropicales para Colombia es el Océano Atlántico, se considerará válida la relación entre la temperatura superficial del mar y la frecuencia e impacto de los eventos. Por este motivo, un aumento de la temperatura producto de cambio climático genera un aumento de susceptibilidad/amenaza por huracanes y tormentas tropicales.

Este evento no aplica en variabilidad climática, debido a que la información disponible corresponde a territorio continental.

3. CALCULO DEL RIESGO PARA EL SISTEMA DEL SECTOR DE LOS HIDROCARBUROS DERIVADAS DE LOS EVENTOS DERIVADOS DEL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

El riesgo es una función de las amenazas identificadas ante los eventos de cambio y variabilidad climática y la vulnerabilidad tanto del entorno como del sistema.

Así pues, una vez identificados los eventos derivados del cambio climático que pueden generar afectaciones potenciales sobre el sistema de hidrocarburos, se analizó detalladamente el impacto de cada uno de los eventos sobre componentes del sistema (amenazas).

La división de componentes del sistema se realizó teniendo en cuenta grandes grupos que se asocian a diferentes procesos dentro de la cadena de valor del sistema de hidrocarburos. En el caso de exploración, se consideran los subcomponentes de Exploración Continental y offshore. En el caso de Producción se ha subdividido en tres componentes: convencional, no convencional y offshore. En el caso de Transporte, se han considerado los sistemas de ductos y carretera, y se ha tenido en cuenta un último grupo que reúne las actividades de refinación, exportación e importación.

Para considerar todos los posibles efectos (amenazas) de un evento sobre componentes del sistema de hidrocarburos, se subdividió el efecto general en los siguientes niveles:

1. directas al subcomponente, para considerar los impactos directos físicos sobre elementos del sistema;
2. indirectas al sistema, para reflejar el impacto que un daño físico puede producir en la cadena productiva del sistema, y
3. al entorno, para reflejar el impacto que un daño sobre un elemento del sistema puede generar en su entorno más inmediato.

En un primer nivel, el evento puede tener efectos directos tanto en el sistema de hidrocarburos como en el entorno. En un segundo nivel, estos efectos pueden redirigirse como efectos indirectos desde y hacia el entorno y desde y hacia el sistema de hidrocarburos.

3.1 Amenazas para el sistema del sector de los hidrocarburos derivadas de los eventos derivados del cambio y la variabilidad climática

La construcción de la amenaza del sistema del sector hidrocarburos se hace a partir de dos sub cálculos, los cuales son:

3.1.1 Potencial y Nivel de Amenaza del Daño

El potencial y posibilidad de ocurrencia del daño asociado a las amenazas determinadas son los componentes que permiten estimar cualitativamente la gravedad de los impactos que se podrían generar en caso de la ocurrencia de un evento determinado.

El Potencial de Daño de la Amenaza, que valora el potencial de modificación del elemento afectado, depende de la importancia del elemento (Centralidad) y la potencial modificación (Alcance) a ese elemento producto de la manifestación del evento. Es decir, que cuanto más central y sustantiva sea el daño de la amenaza, su potencial será Muy Alto; mientras que, si la centralidad es secundaria y su alcance es marginal, su potencial será Muy Bajo.

Como complemento a la valoración del potencial de daños de cada elemento, se incluye una valoración de la posibilidad de daño, basada en la relación de causalidad entre el evento y la amenaza descrita en cada celda de la matriz. En cierta medida, esta representa una medida de ocurrencia simultánea de diferentes circunstancias que para la materialización del daño. Es decir, a mayor cantidad de circunstancias deben ocurrir simultáneamente, menor es la posibilidad de ocurrencia de ese daño; en caso contrario, si muy pocas circunstancias deben suceder para dicha materialización, mayor posibilidad de ocurrencia tendrá.

La combinación de los dos criterios anteriores se hace a nivel cualitativo, siguiendo los criterios descritos en la Tabla 3-1, para obtener valoraciones de amenaza del daño:

Tabla 3-1 Matriz para calificación Nivel de Amenaza del Daño

Nivel de Amenaza		Posibilidad amenaza				
		Bajo	Medio Bajo	Moderado	Medio Alto	Alto
Potencial daño	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
	Bajo	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Alto
	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto
	Alto	Bajo	Moderado	Alto	Alto	Muy Alto
	Muy Alto	Moderado	Moderado	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016.

3.1.2 Nivel de Amenaza del Sistema

Mediante las métricas anteriores, es posible generar un conjunto de datos de calificación de la amenaza del daño sobre los componentes del sistema por cada una de las filas de la matriz de amenazas, es decir, por cada tipo de impacto producto de los eventos. Estos,

posteriormente, fueron cruzados con la posibilidad de ocurrencia del evento para determinar el nivel de amenaza del sistema.

Los criterios para dibujar los mapas de amenaza del sistema resultantes del cruce de la posibilidad prospectiva de eventos y los calificativos de nivel de amenaza del daño obedecen los mismos criterios de la Tabla 3-1.

3.2 Vulnerabilidad del sector hidrocarburos en Colombia

El objetivo principal de este análisis es determinar en qué medida el sistema de hidrocarburos en Colombia, considerando su localización, su organización, su infraestructura, las políticas de su desarrollo, entre otros factores, puede enfrentar exitosamente los posibles eventos asociados al cambio climático. Así pues, la medición de la vulnerabilidad se realizará a través de dos variables que será representada por indicadores: la sensibilidad y la capacidad de adaptación, su metodología y resultados se presentan a continuación:

3.2.1 Vulnerabilidad del sistema del sector de hidrocarburos

Es necesario entender que el "sistema de hidrocarburos" es una entidad estructurada, es decir, es un conjunto de actividades económicas, tales como la exploración, la producción, el transporte y la refinación de crudo, cuya lógica interna viene dada por la función de generación de valor que caracteriza a cada una de ellas.

La vulnerabilidad presenta varias dificultades en su estimación, ya que se requiere un entendimiento detallado del sistema y la interacción de los diferentes agentes, requiere un enfoque local pero también global del sistema, el acceso a información de los diferentes agentes de un sector económico tanto actual como futura basadas en sus percepciones del riesgo y sus recursos, incluyendo también los posibles efectos de medidas realizadas por agentes externos al sistema en estudio, como el gobierno nacional o municipal. Teniendo esto en consideración la medida de la vulnerabilidad del sistema de hidrocarburos es la siguiente:

3.2.1.1 Sensibilidad del sistema de hidrocarburos en Colombia

La sensibilidad del sistema de hidrocarburos a sufrir daños depende de su fortaleza o, por el contrario, de su debilidad como sistema económico tipo. Por tanto, se asume que la fortaleza del sistema se representa por su grado de estructuración, es decir, que el sistema será tanto

más fuerte como mejor estructurado se encuentre. A continuación se presenta la delimitación del sistema que será descrito por los indicadores a determinar:

Delimitación del sistema: Depende de la Estructura empresarial (Capacidad del Sector de Hidrocarburos), la infraestructura física (instalaciones, maquinaria y equipo de exploración, producción y transporte de hidrocarburos) y operación técnica (día a día frente a las amenazas identificadas).

Criterios de definición de los indicadores de sensibilidad del sistema de hidrocarburos al cambio y la variabilidad climática: Para esto, se consideraron, en primer lugar, cuatro componentes del sistema: exploración, producción, transporte e infraestructura portuaria. El segundo criterio es la delimitación del sistema ya presentada.

Descripción de los indicadores:

- Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades: Se determina a través del porcentaje de contratos en proceso de renuncia, suspensión e incumplimiento según informes de la ANH; y el porcentaje de Contratos sancionados por deterioro ambiental reportados por el ANLA.
- Capacidad operativa: El indicador para la actividad de exploración corresponde al porcentaje de empresas E&P operando en Colombia que no se encuentren entre las 50 más grandes del mundo de acuerdo con la revista PIW⁶. Para la actividad de producción, corresponden al porcentaje de producción de crudo en Colombia y el porcentaje de producción de gas natural en Colombia realizado por empresas que no se encuentran, dentro de las 50 más grandes del mundo.
- Calidad de los procesos: En este indicador es importante determinar el porcentaje de empresas sin ISO 9001 o la norma de calidad de procesos equivalente, el porcentaje de empresas sin ISO 26000 o la norma de responsabilidad social equivalente y el porcentaje de empresas sin ISO 14001 o la norma de calidad de gestión ambiental equivalente
- Sensibilidad de la operación técnica: En este indicador se definieron dos variables: la cantidad de bienes y servicios cuya compra no se realiza localmente sino que requiere de transporte para su obtención y la calidad de las vías en el país.

⁶ Petroleum Intelligence Weekly. Para mayor información, consultar http://www.energyintel.com/pages/about_piwi.aspx

- Infraestructura física: Se determinó un indicador que consiste en establecer qué porcentaje de la infraestructura asociada a la producción y al transporte tiene una antigüedad mayor a la mitad de su vida útil.

3.2.1.2 Capacidad de adaptación del sistema de hidrocarburos

La capacidad de adaptación debe medir el grado de disponibilidad de recursos tales como, financieros, humanos, técnicos, entre otros. Esto asegura la adaptación para enfrentar de mejor manera y en el menor tiempo posible los impactos asociados al cambio y variabilidad climática. Los principales aspectos a evaluar son:

Delimitación del sistema: Depende de la adaptabilidad de la infraestructura física según nuevos requerimientos (disponibilidad de equipos, acceso a nuevas tecnologías y liquidez financiera); la capacidad empresarial (personal capacitado, planes de adaptación al cambio climático, mecanismos de difusión de información, experiencias y multiplicación de conocimientos) y la capacidad institucional (liderazgo político, estructura de gobernabilidad, prevención de desastres y política de cambio climático).

Criterios de definición de los indicadores de sensibilidad del sistema de hidrocarburos al cambio y la variabilidad climática: Al igual que en el caso de la sensibilidad, los criterios de selección atienden en primera instancia: 1. Los cuatro componentes del sector (explotación, producción transporte e infraestructura costera, y, 2. La delimitación del sistema anterior.

Descripción de los indicadores:

- Recursos financieros: Se mide a través activos o bienes y derechos de propiedad de la empresa, ingresos por ventas operacionales, y ganancias o pérdidas por el ejercicio de su actividad.
- Recurso humano: Pretende evidenciar el tiempo de permanencia y grado de capacitación desde la Contratación directa y la cantidad de empleo calificado en el sector.
- Existencia de medidas empresariales concretas frente al cambio climático o sus efectos: Mide las acciones concretas que han realizado las empresas de E&P hacia el cambio climático considerando los planes de adaptación, la existencia de planes de mitigación y de planes de capacitación frente al tema del cambio climático.
- Existencia de mecanismos de colaboración: Permite medir el grado de organización a través de la participación en el gremio más representativo.

- Existencia de medidas y normas que incorporen las consideraciones pertinentes al cambio climático: Mide las acciones realizadas por el Gobierno Nacional o municipal, permitiendo al sector prepararse efectivamente ante las amenazas por el cambio y la variabilidad climática.

3.2.1.3 Vulnerabilidad del sistema del sector de hidrocarburos

La vulnerabilidad del sistema se obtiene al asociar tanto la sensibilidad como la capacidad de adaptación específica para cada uno de los componentes. Entendiendo que tanto menor sensibilidad y mayor capacidad de adaptación para un componente del sistema exista, menor vulnerabilidad del sistema existirá.

3.2.2 Vulnerabilidad del entorno del sistema del sector de hidrocarburos

Se realizó una investigación de enfoque mixto orientado por dos objetivos centrales: (i) determinar el nivel de vulnerabilidad socioeconómica por municipios frente a los efectos que el cambio climático puede generar sobre la industria de hidrocarburos en Colombia, y (ii) modelar la vulnerabilidad socioeconómica por municipios frente a los efectos que el cambio climático puede generar sobre la industria de hidrocarburos en Colombia, bajo plataforma y herramientas SIG.

Como punto de inicio, se adelantó una pesquisa exploratoria, el análisis de contenido de experiencias similares y de entrevistas semiestructuradas aplicadas a conocedores del tema, se consideró conveniente elaborar un índice que permita conocer el nivel de vulnerabilidad que tiene cada municipio del país frente al cambio y la variabilidad climática y en consideración de lo que esto significaría para el subsector hidrocarburos.

3.2.2.1 Determinación de variables y acopio de información

Como resultado de este ejercicio se establecieron cinco variables y trece indicadores, los cuales se presentan a continuación:

Exposición: el indicador es la densidad poblacional (Número de habitantes por km)

Sensibilidad:

- Dependencia económica: Porcentaje de importancia de actividades económicas primarias

- Infraestructura social: Depende del déficit cualitativo de vivienda, el porcentaje de viviendas sin cobertura de acueducto, la tasa de camas hospitalarias por cada 1000 habitantes, el porcentaje de penetración de internet banda ancha y el nivel de vulnerabilidad de la red vial nacional.
- Grupos vulnerables: Se describió a través del porcentaje de familias en NBI, el porcentaje de población dependiente (menor de 14 y mayor de 65 años), el porcentaje de población analfabeta (mayores de 15 años que no leen ni escriben), el porcentaje de mujeres y el porcentaje de población étnica (indígena, negra, palenquero, raizal o rom).

Capacidad de adaptación: Se tomó en cuenta el resultado de la evaluación de eficacia en el sector “prevención y atención de desastres”.

3.2.2.2 Validación de indicadores y asignación de importancia con expertos

La validación de indicadores y asignación de importancia cualitativa por componentes y variables, así como la asignación de factores de ponderación, respondió a un procedimiento de consulta con un grupo de expertos en adaptación al cambio climático y gestión de riesgo de desastres de INERCO Consultoría Colombia

3.2.2.3 Vulnerabilidad socioeconómica

Una vez elegidas las variables y los indicadores, la construcción del índice se hizo a partir de un procedimiento compuesto por cinco pasos: normalización de datos de indicadores, construcción de escalas por indicador, asignación de factores de ponderación, cálculo global por variables, y cálculo global del índice.

3.3 Riesgo prospectivo del sistema de sector de los hidrocarburos ante el cambio y la variabilidad climática

Tomando como punto de partida las amenazas identificadas y calificadas y la vulnerabilidad del sistema y del entorno del sector hidrocarburos, se combinan los valores alcanzados por el nivel de amenaza del sistema con los valores de vulnerabilidad obteniéndose los riesgos y sus niveles que enfrenta el sistema frente al cambio y la variabilidad climática. Esto se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 3-2 Matriz para calificación nivel de riesgo

Nivel riesgo		Vulnerabilidad				
		Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
Nivel amenaza del sistema	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
	Bajo	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Alto
	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Alto
	Alto	Bajo	Moderado	Alto	Alto	Muy Alto
	Muy Alto	Moderado	Moderado	Alto	Muy Alto	Muy Alto

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016.

4. OPORTUNIDADES DE ADAPTACIÓN Y ESTRATEGIAS DE BENEFICIO A NIVEL INTERNACIONAL

4.1 Oportunidades de Adaptación a nivel internacional

Las acciones y la participación de los gobiernos de los países son un paso importante en la construcción de la resiliencia de todos los sectores relevantes, incluyendo el sector de hidrocarburos. Los gobiernos pueden crear ambientes con capacidad de resiliencia mediante políticas, medidas fiscales, y la participación de diversos actores e instituciones clave. Además, pueden jugar un rol significativo en el desarrollo y la protección de infraestructura crítica y otros servicios públicos, de los que la industria de hidrocarburos depende. Ellos ocupan un lugar privilegiado para promover la investigación, mejorar el entendimiento de las ciencias del clima, diseñar soluciones y fortalecer las redes de observación de las variaciones meteorológicas y climáticas

Según estudios realizados a varios países se puede identificar que la mayoría de los documentos de estos se enfocaban completamente en el fortalecimiento de energías renovables al tratar temas de energía. Las acciones de adaptación en los hidrocarburos adelantadas por cuatro países se describen a continuación:

4.1.1 Timor Oriental

El NAPA detalla generalmente el progreso de la normativa, los estándares y el acuerdo para infraestructuras resilientes al clima y describe varias acciones específicas relacionadas con los hidrocarburos, En general, los aspectos de la gestión de riesgos asociados al cambio climático están, en su mayoría, relacionados con la administración de las zonas costeras y los

impactos del aumento de la actividad de las tormentas y la lluvia extrema sobre la infraestructura de hidrocarburos costa afuera y la interrupción de las operaciones.

Para el sector de hidrocarburos, haber obtenido puntaje general de prioridad baja se debe a una baja calificación en los siguientes aspectos: 1) afronta las necesidades urgentes e inmediatas, 2) facilidad en la implementación, 3) equidad de género y 4) desarrollo sostenible. Estas prioridades podrían calificarse de manera diferente en otra región, país o contexto.

4.1.2 Noruega

Un informe oficial del Ministerio de Ambiente noruego, de 2010 enfatiza sobre la importancia de fortalecer la capacidad de adaptación de la industria petrolera. Las tres recomendaciones para el sector incluyen

- Acciones para mejorar el entendimiento de los impactos del cambio climático en la industria
- Inclusión de consideraciones sobre el cambio climático en el diseño de los parámetros
- Aplicación de un claro principio preventivo cuando se estudian y valoran nuevas o ampliadas actividades petroleras

El informe abarca las innovaciones en la explotación de yacimientos y en tecnología como acciones de adaptación, las cuales podrían ser consideradas como adaptación autónoma, donde las instalaciones de producción están en el lecho marino y en tierra. También se menciona que, actualmente, está en marcha el trabajo de ampliación de los oleoductos, desde las instalaciones terrestres, para incluir tecnologías de separación petróleo/agua, compresión e inyección.

4.1.3 Estados Unidos

El informe del Departamento de Energía de Estados Unidos, de 2013, se enfoca en las vulnerabilidades climáticas del sector energético, las acciones de adaptación y las oportunidades resultantes. Aquellas relevantes para el sector de hidrocarburos incluyen:

- Tecnologías mejoradas para reducir el uso de agua potable para todos los tipos de producción de combustibles.

- Mejoramiento en el nivel de información y entendimiento de los riesgos asociados al cambio climático.
- Tecnologías para incrementar la resiliencia de la producción costera de hidrocarburos o costa afuera y el sistema de distribución para eventos climáticos extremos.
- Oportunidades a través de las acciones de adaptación para comprometerse y colaborar con los grupos de actores clave, incluyendo alianzas a largo plazo.
- Mejoramiento de la restitución tecnológica y las prácticas para mantener o expandir los humedales regionales y otras zonas de protección ambiental.

4.1.4 Canadá

Un estudio sobre los riesgos asociados al cambio climático para el sector de hidrocarburos al noreste de Columbia Británica brinda información sobre los riesgos asociados al cambio climático, los impactos y las oportunidades del sector. La mayor parte de las acciones adaptativas identificadas relacionadas con la disponibilidad del agua se refieren a las necesidades de infraestructura, lineamientos de mejores prácticas, planeación regional, medidas de gestión de emergencia y requerimientos de información

4.2 Estrategias para el Beneficio de la Industria de Hidrocarburos

Con el paso del tiempo, se ha hecho evidente que las empresas del sector hidrocarburos encuentran oportunidades de negocios materiales generados por el cambio climático. Las oportunidades relacionadas con los cambios físicos en el medio ambiente se han generalizado en el sector y, por lo general, se refieren a aspectos tales como el aumento de la accesibilidad de las regiones remotas. Incluso, hay zonas en las que, por ejemplo, los (Modelos Globales del Clima – MCG, por sus siglas en inglés) predicen aumentos de los niveles de precipitación que generarían recursos hídricos adicionales. A continuación, se presentan las físicas que presenta el cambio climático para la industria de hidrocarburos.

4.2.1 Mejores Prácticas de la Industria en Acciones de Adaptación

Actualmente, la industria de hidrocarburos, en su conjunto, está experimentando una integración de la gestión de los riesgos asociados al cambio climático en sus procesos empresariales. Uno de estos ejemplos es la integración de las acciones de resiliencia climática a los procesos del proyecto de hidrocarburos existente. Esto refleja la realidad, pues el

cambio climático usualmente crea “nuevos” riesgos que alteran la probabilidad y magnitud de las consecuencias de los riesgos existentes.

En la industria las principales compañías de hidrocarburos están comenzado a adoptar un enfoque equilibrado sobre los riesgos y las oportunidades desde el cambio incremental y los eventos extremos, conscientes de los diferentes horizontes temporales sobre los cuales estos eventos pueden ocurrir.

Uno de los principios clave para el desarrollo de soluciones sólidas son las “rutas de adaptación”. Estas adoptan la incertidumbre, dado que son rutas flexibles que permiten cambiar los esfuerzos para construir resiliencia en respuesta a las necesidades, información y condiciones cambiantes.

Muchas compañías de hidrocarburos se están concientizando, cada vez más, sobre las muchas formas de adaptarse a un clima cambiante, de ajustes operacionales e informativos graduales a medidas físicas de resiliencia más costosas.

BIBLIOGRAFÍA

- Allyon, T. (1996). *Elementos de meteorología y climatología*. México D.F.: Trillas.
- De Castro, P., Salinett, S., & GLISC, G. L. (s.f.). *Guidelines for the production of scientific and technical reports: how to write and distribute grey literature*. (Version 1.0. ed.). Grey Literature Internat.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2009). *Metodología Déficit de vivienda*. Bogotá D.C.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (25 de octubre de 2016). *Sitio web corporativo*. Obtenido de Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI-: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/necesidades-basicas-insatisfechas-nbi>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). Metodología. En D. N. Planeación, *Evaluación de desempeño integral de los municipios y distritos. Vigencia 2013* (págs. 8-9). Bogotá D.C.
- DNP, MADS, IDEAM, UNGRD. (2013). *Hoja de Ruta para la Elaboración de los Planes de Adaptación dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Bogotá: MADS.
- Facal, T. (2015). El proyecto de investigación. En T. Facal, *Guía para elaborar un proyecto de investigación social* (págs. 26-30). Madrid: Paraninfo.
- Fedesarrollo, Fundación Ciudad Humana, e Instituto para la Investigación y Debate sobre la Gobernanza. (2013). Introducción. En *Ciudades y Cambio Climático en Colombia* (págs. 1-3). Bogotá D.C.
- Granados, A. (2012). *Vulnerabilidad social al cambio climático por género en México*. México D.F.
- IDEAM. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia*. Bogotá.
- IDEAM. (2015). *Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia. Bogotá 2015*. Bogotá.
- INERCO Colombia. (2016). *Informe de identificación de actores para la adaptación al cambio climático en el subsector hidrocarburos*. Bogotá D.C.
- Jones, R. A. (2014). *Foundations for decision making. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK), New York City (USA): Cambridge University Press.
- López, C. (2015). El riesgo hídrico de los sectores minero y energético en un contexto de cambio climático . *Vox Juris*, 255-261.

- MAVDT. (2005). *Guía Metodológica para Incorporar la Prevención y la Reducción de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territorial*. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía. (2016). *Pliego de condiciones Concurso de méritos abierto 03 de 2016*. .
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. (03 de octubre de 2016 de 2013). *Hoja de ruta para la elaboración de los planes de adaptación al Cambio Climático*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/2._hoja_ruta_planes_adaptacion_v_0.pdf
- MinTransporte. (2014). *Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia al Cambio Climático*. Bogotá D.C.
- Monterroso, A., Gay, C., Conde, C., Gómez, J., & López, J. (2012). *Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México*. México D.F.: UNAM.
- Organización Mundial de la Salud. (29 de junio de 2016). *Cambio climático y salud*. Obtenido de Sitio web corporativo: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2009). *Gestión de la información y comunicación en emergencias y desastres*. Ciudad de Panamá.
- Pereira, Z. (2011). Los diseños de método mixto en la investigación en educación. Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare Vol. XV, N° 1*, 15-29.
- Solanas, C. (2012). *Gestión del riesgo climático: mitigación, adaptación y transferencia*. Cartagena: XVII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública.