



TGI
Grupo Energía Bogotá

PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

GASODUCTO CUSIANA - EL PORVENIR

EXPEDIENTE AMBIENTAL LAM0278

SEPTIEMBRE 2024



TGI
Grupo Energía Bogotá

PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO GASODUCTO CUSIANA - EL PORVENIR

EXPEDIENTE AMBIENTAL LAM0278

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1.	ALCANCE	6
1.2.	CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO	6
1.2.1	Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS	6
1.2.2	Política Nacional de Cambio Climático – PNCC	6
1.2.3	Ley 1931 de 2018.....	6
1.2.4	Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático – TCNCC	7
1.2.5	Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial.....	7
1.3	OBJETIVO Y METAS DEL PLAN	7
2.	METODOLOGÍA	7
3.	EVALUACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS	10
4.	ANÁLISIS DE RIESGOS CLIMÁTICOS	12
4.1	FASE 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	12
4.1.1	Troncal Cusiana – El Porvenir.....	14
4.1.2	Loop Cusiana – Porvenir	14
4.2	FASE 2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS	14
4.2.1	Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático a Nivel Departamental	14
4.2.1.1	Casanare	14
4.2.2	Modelación Escenarios de Variabilidad Climática y Cambio Climático para la Zona.....	16
4.2.2.1	Datos Observados.....	16
4.2.2.2	Datos Futuros de Escenarios de Cambio Climático.....	17
4.2.2.3	Caracterización Climática de la Precipitación y de las Temperaturas Máxima y Mínima.....	19
4.2.2.3.1	Escenarios de Precipitación	23
4.2.2.3.2	Escenarios de Temperatura Máxima	24
4.2.2.3.3	Escenarios de Temperatura Mínima	25
4.2.3	Análisis de la Amenaza por Cambio Climático	26
4.2.3.1	Cambio Proyectado de la Precipitación Bajo Escenarios de Cambio Climático.....	26
4.2.3.2	Amenaza por Movimientos en Masa	27

4.2.3.3 Amenaza por Inundación	28
4.2.3.4 Amenaza por Incendio de la Cobertura Vegetal	29
4.3 FASE 3. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD	30
4.3.1. Cuantificación de la Sensibilidad.....	30
4.3.2. Cuantificación de la Capacidad Adaptativa	32
4.3.3. Vulnerabilidad del Sistema	34
4.3.3.1 Vulnerabilidad del Sistema por Movimientos en Masa	34
4.3.3.2 Vulnerabilidad del Sistema por Inundación	34
4.3.3.3 Vulnerabilidad del Sistema por Incendios Forestales	35
4.3 FASE 4. RIESGO CLIMÁTICO	35
4.4.1 Riesgo Climático del Sistema.....	35
4.4.2 Riesgo Climático Total.....	36
5. PLANIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	38
6. PASO 3. MONITOREO Y EVALUACIÓN	43
6.1 BATERÍA DE INDICADORES DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	43
6.2 PLAN DE ACCIÓN PARA LAS MEDIDAS	46
7. COMUNICACIÓN Y PARTICIPACIÓN	46
7.1 POBLACIÓN OBJETIVO.....	46
7.2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	46
7.2.1 Canales Digitales Internos	47
7.2.2 Canales Digitales Externos	47
7.2.3 Espacios Formativos	47
7.3 PROGRAMA DE DIVULGACIÓN.....	47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Riesgo climático del departamento de Casanare	15
Tabla 2. Eventos extremos reportados en el departamento de Casanare	15
Tabla 3. Escenarios de Cambio Climático 2011 - 2100 para el departamento de Casanare.....	16
Tabla 4. Detalles de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas que poseen información suficiente y confiable.....	16
Tabla 5. Listado de modelos disponibles del CMIP6 en el proyecto NASA NEX-GDDP	18
Tabla 6. Categorías de normalización establecidos para el indicador “Cambio proyectado de la precipitación bajo escenarios de cambio climático”	27
Tabla 7. Niveles de amenaza del indicador “Cambio proyectado de la Precipitación bajo escenarios de cambio climático”, bajo los 3 escenarios SSP en los 3 periodos futuros analizados, para los tramos de la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir	27
Tabla 8. Nivel de amenaza por movimientos en masa en el Gasoducto Cusiana – El Porvenir, para el escenario SSP2 – 4.5 y las 3 temporalidades.....	28
Tabla 9. Nivel de Amenaza por Inundación para el Gasoducto Cusiana - El Porvenir, para el escenario SSP2 – 4.5 y las 3 temporalidades	29
Tabla 10. Amenaza por la temperatura a incendios forestales.....	29
Tabla 11. Niveles de amenaza por "cambio de temperatura" para el gasoducto Cusiana - El Porvenir....	30
Tabla 12. Nivel de amenaza por incendio de la cobertura vegetal para el gasoducto Cusiana - El Porvenir, para el escenario SSP2 – 4.5 y las 3 temporalidades	30
Tabla 13. Calificación y Clasificación de la Centralidad y Alcance de las amenazas	31
Tabla 14. Grado de sensibilidad del proyecto por movimientos en masa para el gasoducto Cusiana - El Porvenir	31
Tabla 15. Grado de sensibilidad del proyecto por Inundación para el Gasoducto Cusiana – El Porvenir .	31

Tabla 16. Grado de sensibilidad del proyecto por incendio en la cobertura vegetal para el gasoducto Cusiana - El Porvenir.....	32
Tabla 17. Índice capacidad adaptativa.....	33
Tabla 18. Calificación y clasificación de la vulnerabilidad.....	34
Tabla 19. Vulnerabilidad del sistema por movimientos en masa.....	34
Tabla 20. Vulnerabilidad del sistema por inundación.....	35
Tabla 21. Vulnerabilidad del sistema por incendio forestal.....	35
Tabla 22. Riesgo climático total por movimientos en masa.....	37
Tabla 23. Riesgo climático total por inundación.....	37
Tabla 24. Riesgo climático total por incendio forestal.....	37
Tabla 25. Medida 1: Reacondicionamiento de la operación y mantenimiento hacia una infraestructura resiliente.....	38
Tabla 26. Medida 2: Planes de gestión de riesgos y desastres.....	39
Tabla 27. Medida 3: Monitoreo geotécnico.....	40
Tabla 28. Medida 4: Cultura organizacional para adaptarse al cambio climático.....	40
Tabla 29. Medida 5: Sistema de alertas tempranas.....	41
Tabla 30. Indicador medida de adaptación 1.....	43
Tabla 31. Indicador medida de adaptación 2.....	43
Tabla 32. Indicador medida de adaptación 3.....	44
Tabla 33. Indicador medida de adaptación 4.....	44
Tabla 34. Indicador medida de adaptación 5.....	45
Tabla 35. Programa de divulgación y socialización del PACC.....	47

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para el componente de adaptación al Cambio Climático.....	8
Figura 2. Marco Conceptual de riesgos climáticos presentado por el IPCC.....	10
Figura 3. Infraestructura Gasoducto Cusiana – El Porvenir.....	13
Figura 4. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas.....	17
Figura 5. Comportamiento de la precipitación anual del periodo 1991-2014 en la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir.....	20
Figura 6. Comportamiento de la temperatura máxima anual del periodo 1991-2014 en la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir.....	21
Figura 7. Comportamiento de la temperatura mínima anual del periodo 1991-2014 en la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir.....	22
Figura 8. Cambio porcentual (%) de la precipitación anual bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (por filas), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 (por columnas), en comparación a la observada en el periodo 1991-2014.....	23
Figura 9. Aumento (°C) de la temperatura máxima anual bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (por filas), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 (por columnas), en comparación a la observada en el periodo 1991-2014.....	24
Figura 10. Aumento (°C) de la temperatura mínima anual bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (por filas), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 (por columnas), en comparación a la observada en el periodo 1991-2014.....	25

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una amenaza para la estabilidad del planeta, los rápidos cambios han afectado la química de la atmósfera, el océano y estabilidad de la biosfera, los informes del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), muestran que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) afectan el clima e incrementan la vulnerabilidad de las regiones y su incapacidad para resistir los impactos de la variabilidad climática y los eventos climáticos extremos.

Si bien Colombia hace aportes relativamente bajos a las emisiones de GEI es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, por lo cual existen en Colombia varias estrategias nacionales y locales para hacer frente al cambio climático (la Política Nacional de Cambio Climático, la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial, entre otras). Sin embargo, en todo caso es necesario, adicionalmente reducir la vulnerabilidad de la infraestructura del sistema de transporte de gas natural e incrementar su capacidad de respuesta frente al cambio climático.

El sistema de transporte de gas de TGI tiene una longitud (troncal y ramales) de 4.182 kilómetros. Presta el servicio de transporte de gas natural, mediante la integración de varios gasoductos desde, La Guajira hasta el Valle del Cauca, y desde los Llanos Orientales hasta el Tolima y Huila, atravesando varios otros departamentos en la región andina. Esta red está conformada por dieciocho (18) gasoductos divididos en ocho (8) distritos para una adecuada operación y mantenimiento de la infraestructura, estos gasoductos transportan el gas hacia los cascos urbanos de 220 municipios en 18 departamentos del país, a través de sus ramales regionales y estaciones de recepción o entrega (city gates).

Teniendo en cuanto lo anterior, se elabora un plan de acción por cada gasoducto con el fin de reducir la vulnerabilidad de este frente a los efectos del cambio climático. Esto implica identificar las amenazas específicas que podrían afectar la infraestructura y las operaciones del gasoducto debido a cambios en el clima, mediante el Plan de Adaptación al Cambio Climático (PACC) para el Gasoducto Cusiana – El Porvenir, este gasoducto tiene en cuenta la extensión total de este, siendo de 66,55 kilómetros de los cuales corresponden a la red troncal incluido el Loop, y tiene como objetivo principal el transporte de gas natural mediante tuberías de acero de alta resistencia, para garantizar el suministro domiciliario e industrial en los municipios de Tauramena¹ y Monterrey² en el departamento de Casanare.

En consecuencia, este documento se desarrolló de la siguiente manera: en el primer capítulo se desarrolla la contextualización de normas y políticas que brindan marco para la atención al Cambio Climático así como el alcance del presente plan; para el segundo capítulo se desarrolla la explicación de la metodología a usar para el desarrollo del documento desde el análisis de riesgos climáticos hasta la elaboración del seguimiento y monitoreo de las medidas planteadas; en el tercer y cuarto capítulo, se hace una ampliación a la metodología a seguir para llevar a cabo el análisis de riesgos climáticos y el desarrollo de esta respectivamente. Posteriormente, desde el capítulo quinto hasta el octavo, se llevará a cabo el desarrollo de la priorización, planificación e implementación de las medidas de adaptación, monitoreo y evaluación de estas, para finalmente estructurar el sistema de comunicación y divulgación del PACC a los actores involucrados. Así mismo, se tiene en cuenta que el documento se construyó a partir de las siguientes herramientas: los escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100, el análisis de vulnerabilidad y riesgo elaborados en el marco de la Tercera Comunicación Nacional, información disponible de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la zona de estudio autorizadas por el IDEAM, modelos generados del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados - Fase 6 (CMIP6), las “Trayectorias Socioeconómicas Compartidas” (SSP, por sus siglas en inglés), desarrolladas en el Sexto Informe de

¹ Veredas de Guichire, Chaparral, Palmar, Aguablanca, Aceite Alto y El Oso.

² Veredas de Tigrana, Porvenir, Tacuya y Garrabal.

Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), los lineamientos para el componente de adaptación según el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Empresariales del Sector Minero Energético.

1.1. ALCANCE

Hace parte del alcance del presente plan, la infraestructura e instalaciones de TGI asociadas al sistema de transporte gasoducto Cusiana – El Porvenir que se listan a continuación:

- Línea troncal de 20 pulgadas de diámetro y una longitud aproximada de 32,83 kilómetros, que va desde el municipio de Tauramena al municipio de Monterrey, en el departamento del Casanare.
- Loop de 20 pulgadas de diámetro y una longitud aproximada 33,72 kilómetros, que va desde el municipio de Tauramena al municipio de Monterrey, en el departamento del Casanare, en el mismo derecho de vía de la línea troncal.

1.2. CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

1.2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS

Los ODS fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015, incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas universales que deben lograrse para el año 2030.

El ODS 13, acción por el clima, plantea medidas para combatir el cambio climático. Busca fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos e incorporar medidas de mitigación y adaptación en las políticas, estrategias y planes nacionales. Colombia, adopto los ODS en el año 2015 y ha incorporado la Agenda 2030 en sus políticas y lineamientos internos³.

1.2.2 Política Nacional de Cambio Climático – PNCC

La Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) de Colombia tiene como objetivo contribuir la mitigación y adaptación al cambio climático, reduciendo los riesgos asociados⁴, esta política incluye el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), busca reducir la vulnerabilidad del país e incrementar su capacidad de respuesta frente a las amenazas e impactos del cambio climático, proponiendo una serie de estrategias territoriales y sectoriales para optimizar la combinación de distintos criterios/elementos en un mismo territorio.

1.2.3 Ley 1931 de 2018

Esta ley establece directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de las entidades públicas y privadas. Su objetivo es reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono. En cumplimiento de esta ley, los sectores privados y públicos deberán adaptar sus operaciones y estrategias comerciales para reducir sus emisiones de gases efecto invernadero y adaptarse a los efectos del cambio climático.

³ Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.

⁴ Departamento Nacional De Planeación (2016). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Bogotá, Colombia.

La ley adopta varios principios que orientan su implementación y reglamentación: autogestión, coordinación, corresponsabilidad, costo-beneficio, costo-efectividad y gradualidad⁵.

1.2.4 Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático – TCNCC

Esta comunicación presenta información sobre las circunstancias nacionales, necesarias para entender la vulnerabilidad del país, la capacidad y opciones para adaptarse al cambio climático, y las opciones para controlar las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). Incluye, un inventario de emisiones de GEI del país, y su aporte a las emisiones mundiales⁶.

1.2.5 Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial

El Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero Energético 2050 (PIGCCme), busca alinear la política energética con la política climática nacional. Para el sector de hidrocarburos, busca habilitar oportunidades para que la industria se adapte a las nuevas condiciones y requerimientos de la política climática nacional. De acuerdo con este plan, las empresas de este sector deben tomar medidas para reducir sus emisiones de GEI, y adaptarse a los efectos del cambio climático. Además, el Plan incluye una línea estratégica para la gestión del conocimiento, que integra acciones de divulgación, fortalecimiento de capacidades e integración de conocimientos a la hoja de ruta de la reducción de emisiones y la resiliencia del sector⁷.

1.3 OBJETIVO Y METAS DEL PLAN

➤ Objetivo:

Garantizar la resiliencia y la operación continua del gasoducto en un entorno de cambio climático, asegurando la seguridad y sostenibilidad del transporte de gas.

➤ Metas:

- ◆ Identificar y evaluar los segmentos del gasoducto susceptibles a los efectos de los cambios permanentes en el clima y a la variabilidad climática.
- ◆ Fortalecer las capacidades de TGI para afrontar los efectos del cambio climático.
- ◆ Reducir la vulnerabilidad de las instalaciones del gasoducto frente a los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

2. METODOLOGÍA

La metodología planteada para el desarrollo del presente documento se basa en los términos de referencia presentados en la ruta crítica y determinados en compañía de la empresa junto con los lineamientos sugeridos por el documento “Lineamientos Para La Formulación De Los Planes Integrales De Gestión Del

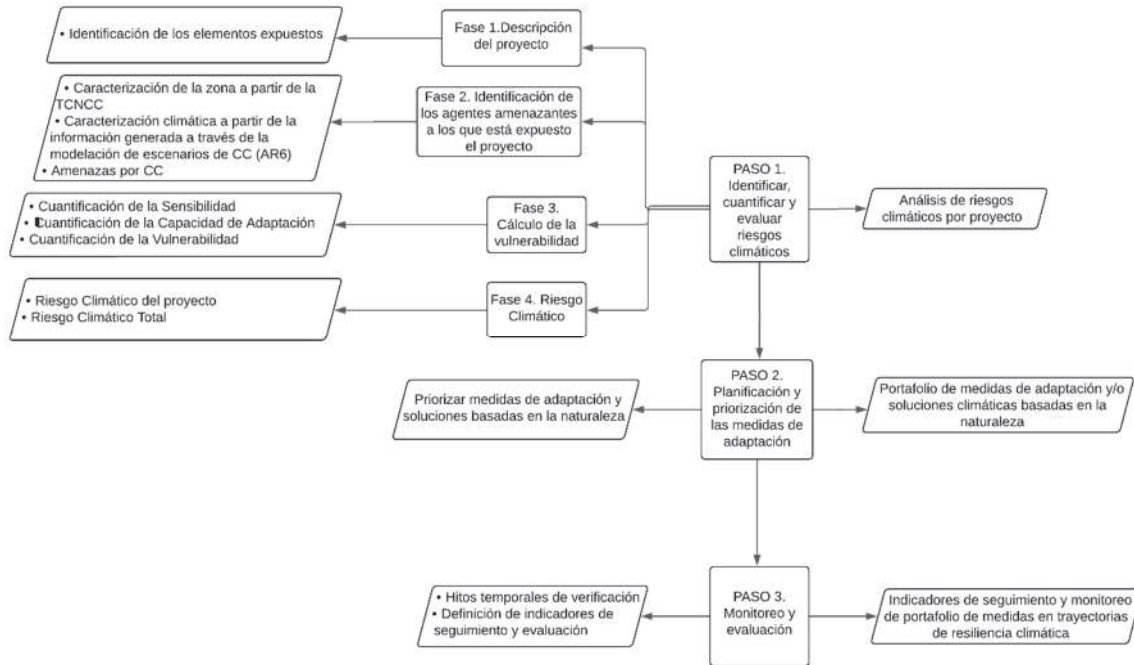
⁵ Congreso de Colombia (2018). Ley 1931 de 2018. Bogotá, Colombia.

⁶ IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA (2017). Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

⁷ Ministerio De Minas y Energía (2021) Plan Integral De Gestión Del Cambio Climático Del Sector Minero Energético 2050. Bogotá, Colombia.

Cambio Climático Empresariales Del Sector Minero Energético - PIGCCe⁸ para el apartado de adaptación, adaptando terminología y orden de etapas de desarrollo de esta. A continuación, se explica brevemente las etapas de este (Figura 1):

Figura 1. Metodología para el componente de adaptación al Cambio Climático



Fuente: Ministerio de Minas y Energía. (2023). Lineamientos PIGCCe.; adaptado por Gradex ingeniería S.A., junio de 2024.

A continuación, se describe con mayor detalle los pases mencionados anteriormente:

Paso 1. Identificar, cuantificar y evaluar riesgos climáticos

Para el análisis de riesgos climáticos del sector minero-energético, se hace una diferenciación del tipo de impactos que el clima cambiante puede tener sobre la continuidad de las operaciones, con el propósito de asegurar el suministro de la demanda de energéticos en el país. Los impactos identificados son de cuatro tipos: i) directos en la operación; ii) sobre el territorio donde se despliegan las actividades del sector minero-energético; iii) secundarios sobre la operación, debido a afectaciones en el área donde se desarrollan los trabajos, y iv) en las operaciones por cambios en el macroentorno (megatendencias derivadas de la gestión del cambio climático en la nación y el mundo). Lo anterior amplía la visión del sistema analizado, ya que no se limita a la infraestructura de las operaciones, sino al territorio (espacio geográfico con interacción de diferentes dinámicas socioambientales) y al comportamiento del mercado propio del sector minero-energético.

⁸Ministerio de Minas y Energía (2023). Lineamientos Para La Formulación De Los Planes Integrales De Gestión Del Cambio Climático Empresariales Del Sector Minero Energético – PIGCCe. Bogotá, Colombia.

El análisis de riesgo climático se calcula en función de la Amenaza, la Exposición y la Vulnerabilidad, **Ecuación 5.1**, (está última entendida como el cociente entre la sensibilidad y la capacidad de adaptación, **Ecuación 5.2**⁹):

$$R = A \times E \times V \text{ (5.1)}$$

Donde:

- R: riesgo por Cambio Climático
- E: exposición
- A: amenaza
- V: vulnerabilidad a Cambio Climático

$$V = \frac{S}{CA} \text{ (5.2)}$$

Donde:

- V: vulnerabilidad a Cambio Climático
- S: sensibilidad
- CA: capacidad adaptativa

Paso 2. Planificación y priorización de las medidas de adaptación

En alineación con el PIGCCme 2050, se dispone de cuatro líneas estratégicas que atienden a la adaptación del sector, por lo cual se recomienda que la empresa clasifique sus medidas en éstas: i) Infraestructura resiliente, esta integra la gestión del riesgo del cambio climático y la variabilidad climática, que pueden afectar la seguridad energética del país; ii) Planeación corto y largo plazo, con el fin de incorporar progresivamente la gestión del riesgo climático en todos los niveles de planificación y decisión del sistema para así fortalecer su resiliencia y competitividad frente a los efectos de la variabilidad y cambio climático; iii) Gestión del entorno, esta línea busca apoyar la coordinación de los actores públicos y privados del sector en la gestión de los riesgos climáticos que se pueden presentar en los territorios con desarrollo minero energético; y iv) Información para la adaptación, con el fin de generar investigación e información actualizada y precisa sobre las amenazas y los impactos que genera el cambio climático sobre la operación, se busca que esta información ayude a la toma de decisiones de corto y largo plazo.

Con base a los resultados en el paso 1, la priorización se realizará con base al nivel de amenaza obtenido y el nivel de importancia del elemento expuesto. De este modo, en los siguientes pasos el proceso de análisis corresponderá a un enfoque hacia el resultado de reducir el riesgo climático ante las variables críticas determinadas por la empresa y así gestionar una adecuada estrategia de medidas de adaptación que conlleven a una Trayectoria hacia la Resiliencia Climática.

Paso 3. Monitoreo y evaluación de las medidas de adaptación

Por medio de este paso se busca realizar el proceso de monitoreo y evaluación a las medidas de adaptación formuladas anteriormente, para esto se realiza la creación de una ficha de seguimiento para cada una, donde contenga información como la identificación del indicador, descripción y alcance de este. Esto con el fin de La construcción de las Trayectorias hacia la Resiliencia Climática tiene como objetivo orientar la formulación de rutas específicas en términos de adaptación. Estas rutas guían la toma de decisiones para reducir así el nivel de riesgo climático, esto con el fin de asegurar no solo la conservación de la

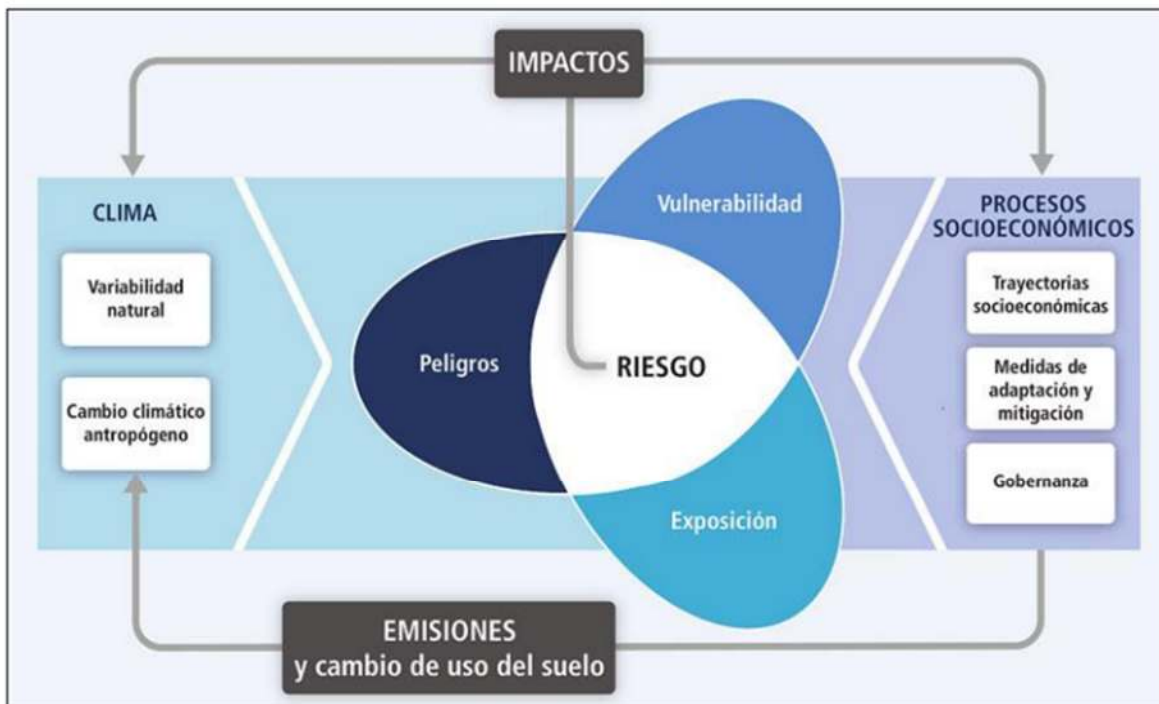
⁹ IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

competitividad, operación y estructura esencial de las empresas, sino también su interacción con los diferentes Servicios Ecosistémicos presentes.

3. EVALUACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS

La metodología planteada para la evaluación de los riesgos climáticos se basa en los términos de referencia presentados en la ruta crítica y los lineamientos sugeridos por el documento “Lineamientos Para La Formulación De Los Planes Integrales De Gestión Del Cambio Climático Empresariales Del Sector Minero Energético - PIGCCe¹⁰”, adaptando terminología y orden de etapas de desarrollo. Como se puede ver en la **Figura 2**, los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro, según el IPCC, se entiende la vulnerabilidad como la predisposición a ser afectado negativamente y que comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación, en el caso de la exposición hace referencia a la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente, por último, los peligros o amenazas, hacen referencia al potencial de ocurrencia de un evento físico o cambio en tendencias, inducido por razones humanas o naturales, que pueden generar pérdidas de vidas, lesiones u otros daños a la salud, así como perjuicios o detrimentos de elementos físicos como infraestructura, componentes del sustento de comunidades, provisión de servicios, ecosistemas y recursos ambientales¹¹.

Figura 2. Marco Conceptual de riesgos climáticos presentado por el IPCC



Fuente: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. IPCC, 2014.

¹⁰ Lineamiento PIGCCe.

¹¹ IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

A continuación, se presenta una breve descripción de lo que se pretende alcanzar en cada etapa del proceso:

Fase 1. Definición y descripción de las actividades y/o componentes del sistema

El punto de partida para el análisis de riesgos relacionados con eventos de variabilidad climática y cambio climático es la definición y descripción de las actividades y/o componentes del sistema que serán objeto de estudio, con el fin de definir cuáles serán los elementos expuestos a valorar.

Fase 2. Identificación de los agentes amenazantes a los que está expuesto el proyecto

Identificación de los riesgos climáticos específicos que afectan a la región donde se encuentra el proyecto tanto por eventos de variabilidad climática y cambio climático, este análisis se hará inicialmente a nivel departamental partir de la información generada en la TCNCC, luego a nivel de recorrido del gasoducto por medio de las modelaciones realizadas por el equipo con base a la información generada en el CMIP6 y los datos históricos de las estaciones meteorológicas anexas al proyecto.

Fase 3. Cálculo de la vulnerabilidad

Cómo se mencionó anteriormente, el cálculo de la vulnerabilidad del sistema se da entre la relación de la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Se debe tener en cuenta que, la calificación de vulnerabilidad es diferente para cada componente del sistema, ante cada uno de los agentes amenazantes y diferente en cada uno de los territorios con operaciones.

➤ Cuantificación de la Sensibilidad

Se entiende por sensibilidad, el análisis de los elementos que contribuyen a la materialización de un riesgo. Se recomienda considerar que la sensibilidad puede verse exacerbada por un agente amenazante en específico, por ello se parte del análisis de los diferentes impactos o afectaciones identificadas. De esta manera, se califica la posibilidad de ocurrencia de dicho impacto con base al nivel de amenaza, y la importancia del elemento expuesto valorado dentro de la operación.

➤ Cuantificación de la Capacidad de Adaptación

Esta capacidad se define como la habilidad para adaptarse a los posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias del cambio climático, esta se calcula a partir de indicadores que buscan calificar la disponibilidad de recursos técnicos, financieros y administrativos con los cual cuenta la empresa para lograr lo anterior.

Fase 4. Riesgo Climático

Finalmente, los resultados anteriores se cruzan para obtener el nivel de riesgo climático, el cual se diferencia entre cada componente del sistema, ante cada uno de los agentes amenazantes y es diferente para cada uno de los territorios con operaciones.

Sin embargo, la obtención de este se divide en dos partes, primero se calcula el riesgo del sistema, el cual se obtiene del cruce entre los valores de vulnerabilidad y amenaza, para la segunda parte se debe tener en cuenta el riesgo del entorno, el cual se obtiene de la información de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, con base en los resultados a nivel municipal, seleccionando aquellos municipios donde se encuentran los elementos expuestos definidos anteriormente, de tal forma que el riesgo total se define con la **Ecuación 5.3:**

$$Riesgo\ total = (0,25 \times Riesgo\ del\ entorno) + (0,75 \times Riesgo\ del\ sistema) \text{ (5.3)}$$

4. ANÁLISIS DE RIESGOS CLIMÁTICOS

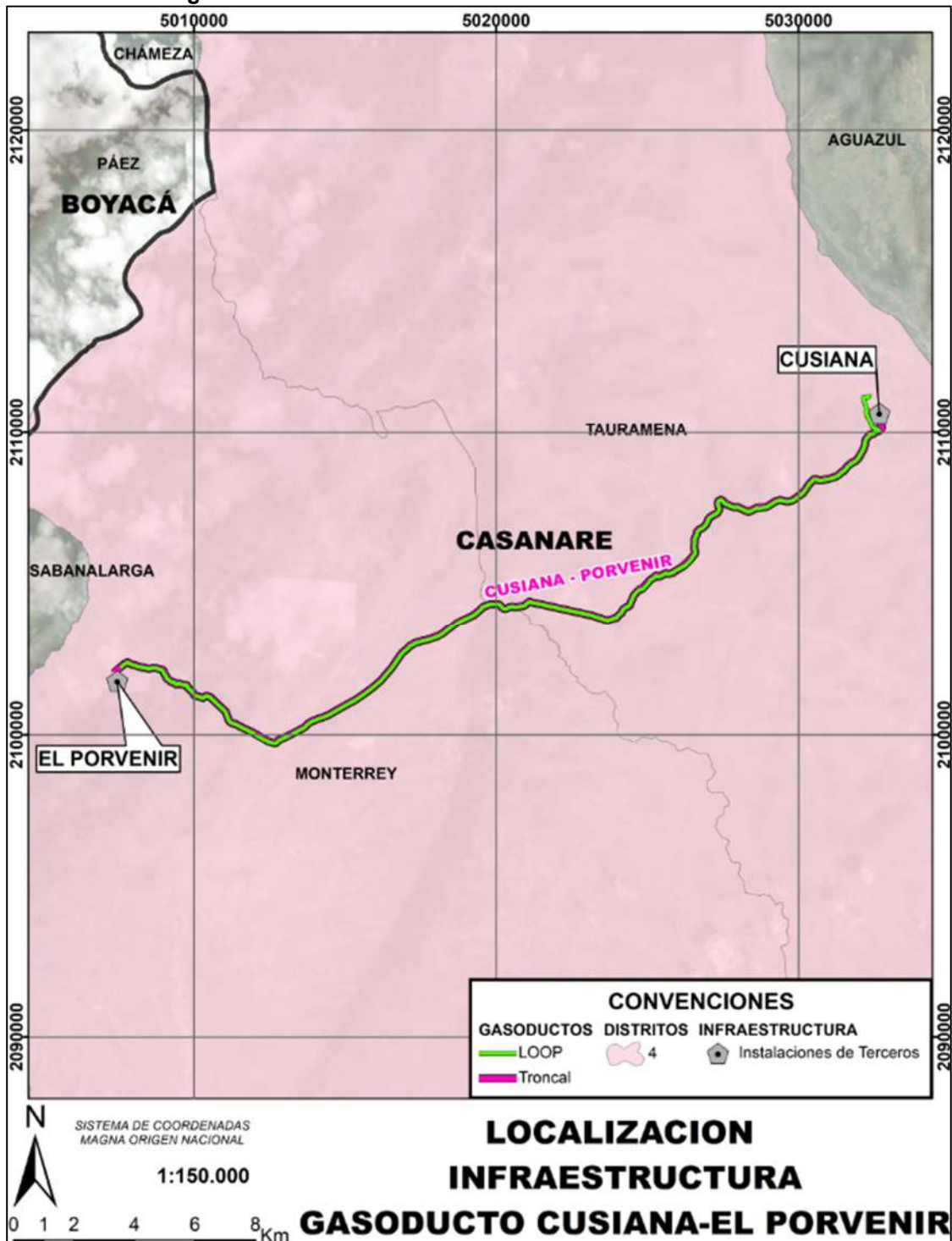
Como se menciona en el apartado 3, la primera fase incluye la definición y descripción de los elementos expuestos a los que se van a evaluar los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo climático frente a eventos de variabilidad climática y cambio climático, por lo que se dará una breve descripción de estos a continuación:

4.1 FASE 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Gasoducto Cusiana – El Porvenir hace parte del Distrito IV de TGI y se encuentra en la jurisdicción ambiental de la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (CORPORINOQUÍA), desde las Facilidades Centrales de Producción (CPF) de la concesión BP en Tauramena (Casanare) hasta la válvula de seccionamiento en El Porvenir localizado en el municipio de Monterrey.

En la **Figura 3** se observa un esquema ilustrativo de la localización general de este sistema de transporte.

Figura 3. Infraestructura Gasoducto Cusiana – El Porvenir



Fuente: TGI. Modificada por Gradex Ingeniería S.A., julio de 2024.

Este gasoducto está conformado por una línea principal (troncal) y un Loop.

4.1.1 Troncal Cusiana – El Porvenir

La troncal de 20” de diámetro es el origen del Gasoducto Cusiana – El Porvenir que distribuye la mayor parte del gas que se consume en el centro y oriente del país. Está construido en tubería de acero al carbón Schedule API 5LX60 y API 5LX65, espesores de tubería de 0,562”, 0,438” y 0,375” y presión promedio de operación de 1.050 psi. La línea se encuentra enterrada a una profundidad mínima de 1,5 m y está protegida a su alrededor con suelo disgregado en una capa de 30 cm.

En la troncal se encuentran ubicadas dos (2) válvulas de seccionamiento o bloqueo automático de 20” tipo bola que operan en caso de emergencia por medio de actuadores a gas (accionamiento neumático) y/o aceite (accionamiento hidráulico). También cuenta con válvulas de interconexión que conectan la troncal con el Loop.

4.1.2 Loop Cusiana – Porvenir

Además de la troncal, este sistema de transporte de gas natural también incluye el Loop Cusiana – Porvenir de 20”.

4.2 FASE 2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS

En este apartado se identificará la caracterización climática y las amenazas a los que se encuentra expuesto el territorio donde se encuentra el proyecto, el primer apartado se desarrollará a partir de información secundaria a nivel departamental como la TCNCC, en cuanto al segundo apartado se presentaran los resultados generados a través de las modelaciones climáticas.

4.2.1 Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático a Nivel Departamental

Por medio de la TCNCC se establece el análisis de vulnerabilidad y riesgo para cada departamento asociado a la infraestructura, para lo cual se debe tener en cuenta que se ponderaron los resultados de las seis dimensiones seleccionadas, siendo: 1) seguridad alimentaria, 2) biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, 3) recurso hídrico, 4) salud, 5) hábitat humano, 6) infraestructura, así mismo se logra identificar los eventos hidrometeorológicos reportados de mayor interés y la variabilidad climática¹², también se generaron diferentes escenarios a partir de las variables de temperatura y precipitación, estos nuevos Escenarios de Cambio Climático 2011-2100 por departamento siguen las metodologías propuestas por el IPCC, los cuales permiten representar el clima que se observaría bajo una concentración determinada de GEI y aerosoles en la atmósfera (RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8,5) para diferentes épocas futuras, siendo 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

4.2.1.1 Casanare

Las dimensiones a tener en cuenta en este análisis son el riesgo, amenaza y vulnerabilidad por cambio climático que presenta el municipio, donde los resultados de estos tres se obtienen de la ponderación de las seis dimensiones mencionadas anteriormente, además de las variables de riesgo en el recurso hídrico e infraestructura por cambio climático (**Tabla 1**). Como se puede observar las valoraciones para el riesgo, vulnerabilidad y amenaza por cambio climático se ubica en un nivel muy bajo, lo que indica que es poco

¹² IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2017). Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

probable que ocurran eventos climáticos adversos significativos en ese territorio, y si ocurren, sus impactos serían mínimos.

Por otro lado, la dimensión del riesgo en el recurso hídrico por cambio climático tiene un nivel alto, a excepción del municipio aguazul que se ubica en un nivel muy alto, esta dimensión tiene en cuenta las amenazas a las que están expuestos los recursos hídricos del municipio como eventos que pueden incluir inundaciones, sequías, deslizamientos, avenidas torrenciales y otros fenómenos hidrometeorológicos, que pueden verse exacerbados debido al cambio climático y/o variabilidad climática, así mismo tiene en cuenta la predisposición y sensibilidad en cuanto a la disponibilidad del mismo en un futuro bajo esas condiciones climáticas. En el caso de la dimensión del riesgo en infraestructura se presenta como muy bajo en todos los municipios, sin embargo, se debe tener presente que a pesar de este nivel es importante tomar medidas de prevención y planificación a largo plazo con el fin de garantizar la resiliencia de la infraestructura para que así las operaciones continúen sin interrupciones pues el departamento en conjunto presenta una sensibilidad media-alta a eventos climáticos extremos.

Tabla 1. Riesgo climático del departamento de Casanare

Departamento	Municipios	Riesgo por CC	Vulnerabilidad por CC	Amenaza por CC	Riesgo Infraestructura por CC	Riesgo Recurso Hídrico por CC
Casanare	Tauramena	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy Bajo	Alto
	Aguazul	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy Bajo	Muy Alto
	Monterrey	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy Bajo	Alto

Fuente: TCNCC, 2017 adaptada por Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Por otro lado, se debe tener en cuenta los eventos asociados a fenómenos hidrometeorológicos y meteopiroecológicos a los que se ha visto expuesto el departamento, presentado en el análisis de vulnerabilidad y riesgo de la TCNCC, desde 1938 Casanare se ha visto afectado principalmente por eventos de inundación e incendios forestales. En el periodo de 1985 al 2015, han sido registrados 377 eventos de inundación y 282 eventos de incendios forestales, representando respectivamente, el 48% y 36% del total de eventos reportados en este departamento. Otros fenómenos registrados con menor frecuencia en los últimos 30 años han sido vendavales (7%) y deslizamientos (6%) (**Tabla 2**).

Tabla 2. Eventos extremos reportados en el departamento de Casanare

Eventos	Número de Eventos Registrados Entre 1985 – 2015
Inundación	377
Deslizamientos	49
Incendios Forestales	282
Vendavales	53
Avenidas Torrenciales	7

Fuente: TCNCC, 2017 adaptada por Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Según la TCNCC, la climatología del departamento del Casanare está caracterizada por dos regiones climáticas, la Cuenca del río Arauca y Cuenca Media del río Meta, que ocupa la mayoría de su extensión y la región climática del Piedemonte Llanero, que se extiende a lo largo de su frontera Oriental. El comportamiento estacional de la precipitación en el departamento es unimodal a lo largo de este con la existencia de un máximo de precipitación en los meses de mayo y junio, y un mínimo de precipitación al año en los meses de diciembre y enero. También se debe tener en cuenta que la variabilidad climática departamental está asociada con las dinámicas del Patrón del Pacífico Norte, sobre todo en la región climática asociada con las Cuencas del Río Arauca y Cuenca Media del Río Meta, dinámicas asociadas con la temperatura superficial del mar en el Pacífico Tropical y la precipitación del Sahel, entre las más destacadas.

Por otro lado, se presenta también los nuevos Escenarios de Cambio Climático 2011-2100 por departamento, para las variables de precipitación y temperatura media en Colombia, siguiendo las

metodologías propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, estos escenarios permiten representar el clima que se observaría bajo una concentración determinada de GEI y aerosoles en la atmósfera (RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8,5) en diferentes épocas futuras, en la **Tabla 3** se puede observar el cambio de estas variables en comparación con el periodo de referencia 1976-2015, teniendo que para el departamento en los escenarios propuestos se tendrá un aumento de temperatura entre el 0,9°C hasta los 2,4°C y en el caso de la precipitación su cambio no será relevante.

Tabla 3. Escenarios de Cambio Climático 2011 - 2100 para el departamento de Casanare

Tabla Convención Temperatura		Tabla Escenarios de Cambio Climático 2011 - 2100						Tabla Convención Precipitación	
Cambio	Rango de Valores T. °C	2011 - 2040		2041 - 2070		2071 - 2100		Cambio	%
Bajo	0 - 0,5	Cambio de T. media °C	Cambio de Pr. (%)	Cambio de T. media °C	Cambio de Pr. (%)	Cambio de T. media °C	Cambio de Pr. (%)	Déficit Severo	< 40%
Bajo Medio	0,5 - 1							Déficit	-39% y 11%
Medio	1,1 - 1,5							Normal	-10% y 10%
Medio Alto	1,5 - 2							Exceso	11% y 39%
Alto	2,1 - 3,9							Exceso Severo	> 40%

Fuente: TCNCC, 2017 adaptada por Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

4.2.2 Modelación Escenarios de Variabilidad Climática y Cambio Climático para la Zona

A continuación, se presentan los resultados de los escenarios de variabilidad climática y cambio climático para la zona del gasoducto Cusiana – El Porvenir. Este análisis se realizó con base en la información disponible de precipitación y temperaturas máxima y mínima a escala diaria y mensual de 1 estación hidrometeorológica ubicada en la zona de estudio. Los escenarios generados corresponden a 3 de los 4 del último reporte de evaluación del IPCC (AR6): SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5; para las escalas temporales del 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100. En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos para estos tres escenarios, junto con las series de datos e información generada durante el proceso, esta información se puede revisar a detalle en los **Anexos 1, 1.1 y 1.2** adjunto a este documento.

4.2.2.1 Datos Observados

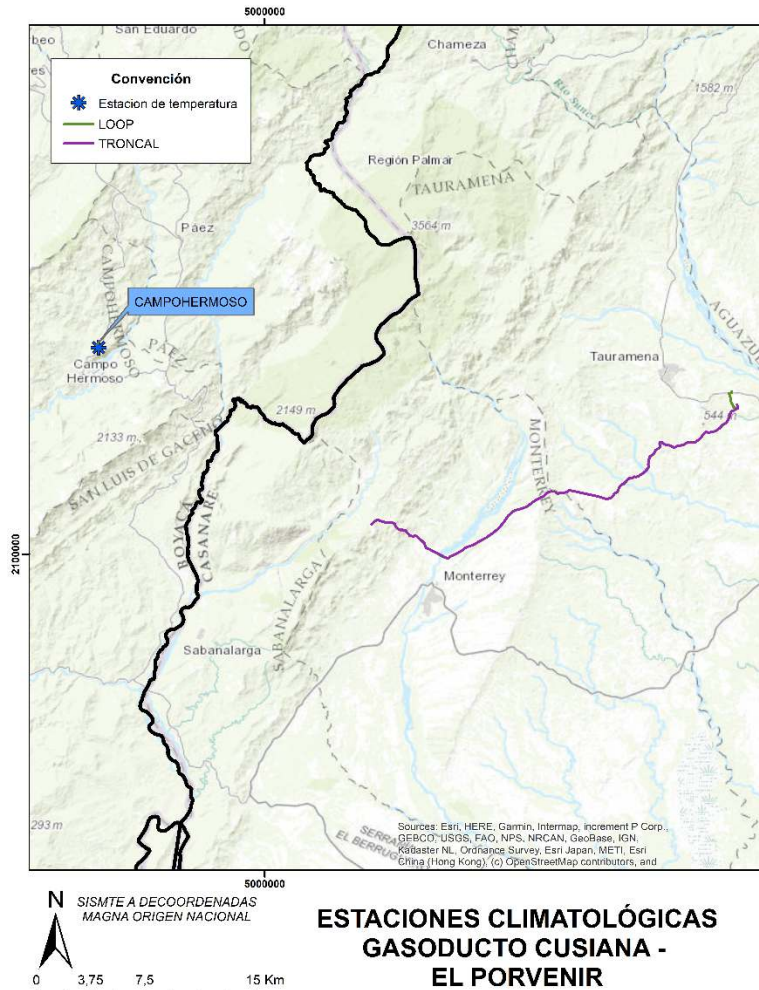
Para el análisis climático, en primer lugar, se revisó la información disponible de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en la zona de estudio que tuviesen datos de precipitación y temperaturas máxima y mínima diaria, para un periodo de 24 años (1991-2014) (y que como máximo presentaran un faltante de información del 20%. De este proceso, obteniendo así datos para 1 estación (**Tabla 4 y Figura 4**).

Tabla 4. Detalles de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas que poseen información suficiente y confiable

Código Estación	Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud
35085050	Campohermoso [35085050]	5,03	-73,10	1.300

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Figura 4. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas



Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.2.2 Datos Futuros de Escenarios de Cambio Climático

En lo relacionado con la información climática futura de distintos escenarios de cambio climático, se revisaron los datos generados por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a través del proyecto NEX-GDDP (*NASA Earth eXchange - Global Daily Downscaled Projections*)¹³, quienes realizaron la reducción de escala de los datos de precipitación, temperaturas media, máxima y mínima y otras variables para 25 de los 80 modelos del CMIP6 (**Tabla 5**), generando datos a una resolución espacial de 25x25Km, tanto para el periodo histórico 1961-2014 como para el periodo futuro 2021-2100 de 4 de los 5 escenarios SSP del Sexto Reporte de Evaluación del IPCC (AR6) (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5). De estos datos, se descargaron los correspondientes al periodo histórico 1991-2014 y para 3 de los 4 escenarios (SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100.

¹³ NEX Global Daily Downscaled Climate Projections: <https://www.nasa.gov/nex/gddp>.

Tabla 5. Listado de modelos disponibles del CMIP6 en el proyecto NASA NEX-GDDP

Modelo	Institución	Descripción de la Institución	País
ACCESS-CM2	CSIRO-ARCCSS	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), ARCCSS (Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science)	Australia
ACCESS-ESM1-5	CSIRO	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)	Australia
BCC-CSM2-MR	BCC	Beijing Climate Center	China
CanESM5	CCCma	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Environment and Climate Change	Canadá
CMCC-ESM2	CMCC	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italia
CNRM-CM6-1	CNRM-CERFACS	CNRM (Centre National de Recherches Meteorologiques), CERFACS (Centre Europeen de Recherche et de Formation Avancee en Calcul Scientifique)	Francia
CNRM-ESM2-1			
EC-Earth3	EC-Earth-Consortium	AEMET, Spain; BSC, Spain; CNR-ISAC, Italy; DMI, Denmark; ENEA, Italy; FMI, Finland; Geomar, Germany; ICHEC, Ireland; ICTP, Italy; IDL, Portugal; IMAU, The Netherlands; IPMA, Portugal; KIT, Karlsruhe, Germany; KNMI, The Netherlands; Lund University, Sweden; Met Eireann, Ireland; NLeSC, The Netherlands; NTNU, Norway; Oxford University, UK; surfSARA, The Netherlands; SMHI, Sweden; Stockholm University, Sweden; Unite ASTR, Belgium; University College Dublin, Ireland; University of Bergen, Norway; University of Copenhagen, Denmark; University of Helsinki, Finland; University of Santiago de Compostela, Spain; Uppsala University, Sweden; Utrecht University, The Netherlands; Vrije Universiteit Amsterdam, the Netherlands; Wageningen University, The Netherlands. Mailing address: EC-Earth consortium, Rossby Center, Swedish Meteorological and Hydrological Institute/SMHI	Varios países de Europa
EC-Earth3-Veg-LR			
FGOALS-g3	CAS	Chinese Academy of Sciences	China
GFDL-ESM4	NOAA-GFDL	National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Estados Unidos
GISS-E2-1-G	NASA-GISS	Goddard Institute for Space Studies	Estados Unidos
INM-CM4-8	INM	Institute for Numerical Mathematics, Russian Academy of Science	Rusia
INM-CM5-0			
IPSL-CM6A-LR	IPSL	Institut Pierre Simon Laplace	Francia
KACE-1-0-G	NIMS-KMA	National Institute of Meteorological Sciences/Korea Meteorological Administration, Climate Research Division	Corea del Sur
MIROC6	MIROC	JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology), AORI (Atmosphere and Ocean Research Institute), NIES (National Institute for Environmental Studies), and R-CCS (RIKEN Center for Computational Science)	Japón
MIROC-ES2L			
MPI-ESM1-2-HR	MPI-M DWD DKRZ	MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology); DWD (Deutscher Wetterdienst), and DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum)	Alemania
MPI-ESM1-2-LR	MPI-M AWI DKRZ DWD	MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology); AWI (Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research); DWD (Deutscher Wetterdienst), and DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum)	Alemania
MRI-ESM2-0	MRI	Meteorological Research Institute	Japón
NorESM2-LM	NCC	NorESM Climate modeling Consortium consisting of CICERO (Center for International Climate and Environmental Research), MET-Norway (Norwegian Meteorological Institute), NERSC (Nansen Environmental and Remote Sensing Center), NILU (Norwegian Institute for Air Research), UiB (University of Bergen), UiO (University of Oslo) and UNI (Uni Research)	Noruega
NorESM2-MM			
TaiESM1	AS-RCEC	Research Center for Environmental Changes	Taiwán
UKESM1-0-LL	MOHC NERC NIMS-KMA NIWA	MOHC (Met Office Hadley Centre) (UK); NERC (Natural Environment Research Council, STFC-RAL) (UK); NIMS-KMA (National Institute of Meteorological Sciences/Korea Meteorological Administration, Climate Research Division) (Korea); and NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research) (New Zealand)	Reino Unido, Corea del Sur y Nueva Zelanda

Fuente: TCNCC, 2017 adaptada por Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

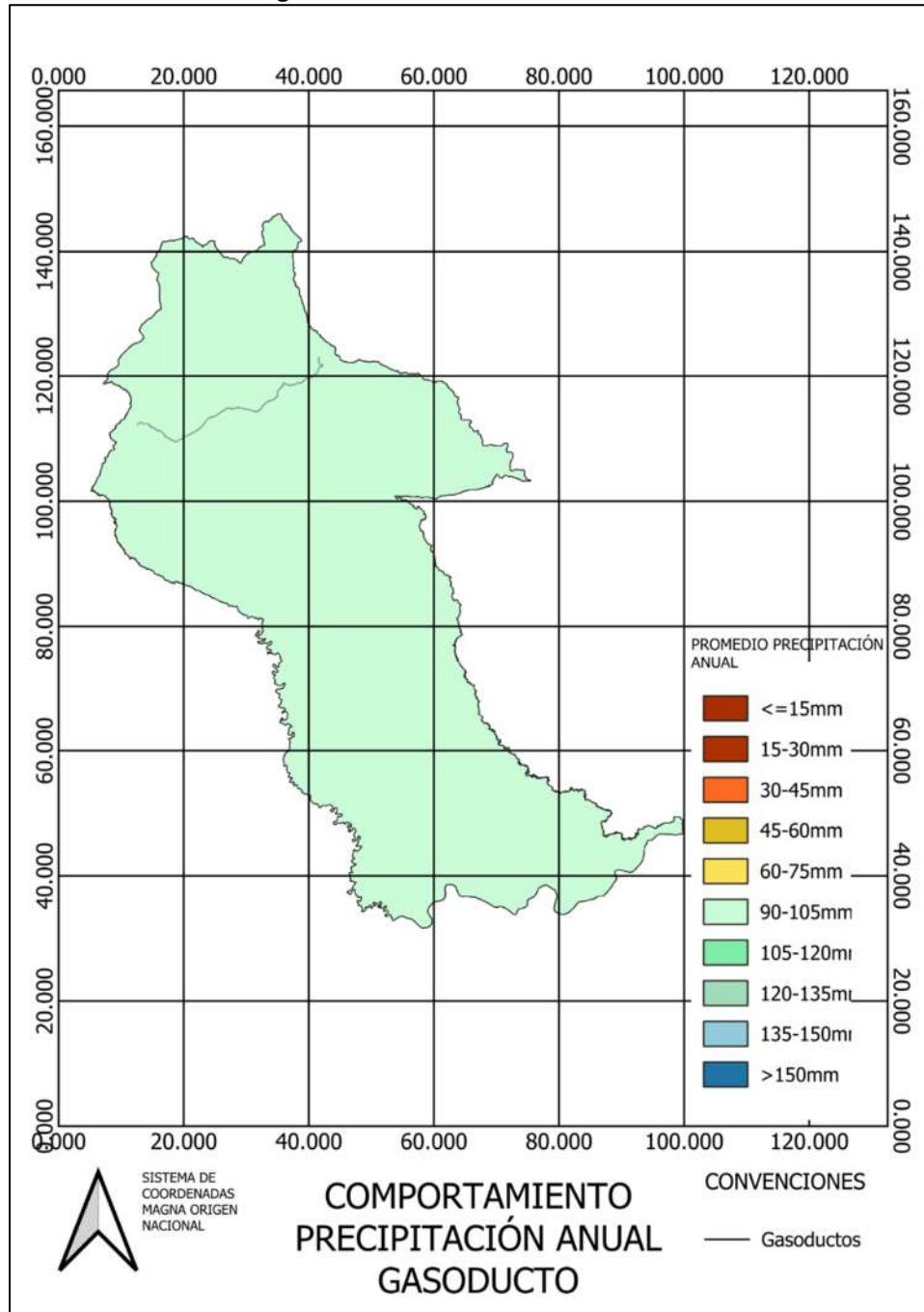
A continuación, se describen los aspectos generales del comportamiento y la variabilidad climática histórica para la zona de estudio, y también se presentan los escenarios de cambio climático que podrían darse en la zona.

4.2.2.3 Caracterización Climática de la Precipitación y de las Temperaturas Máxima y Mínima

El área de estudio experimenta una variabilidad en la precipitación anual, con valores que oscilan entre 80 y 90 milímetros (**Figura 5**). Se observa un régimen con un pico de precipitación entre mayo y agosto, con un promedio de 11 - 17mm por mes, y un periodo de menor precipitación entre diciembre y marzo, con valores de 0 - 2mm por mes.

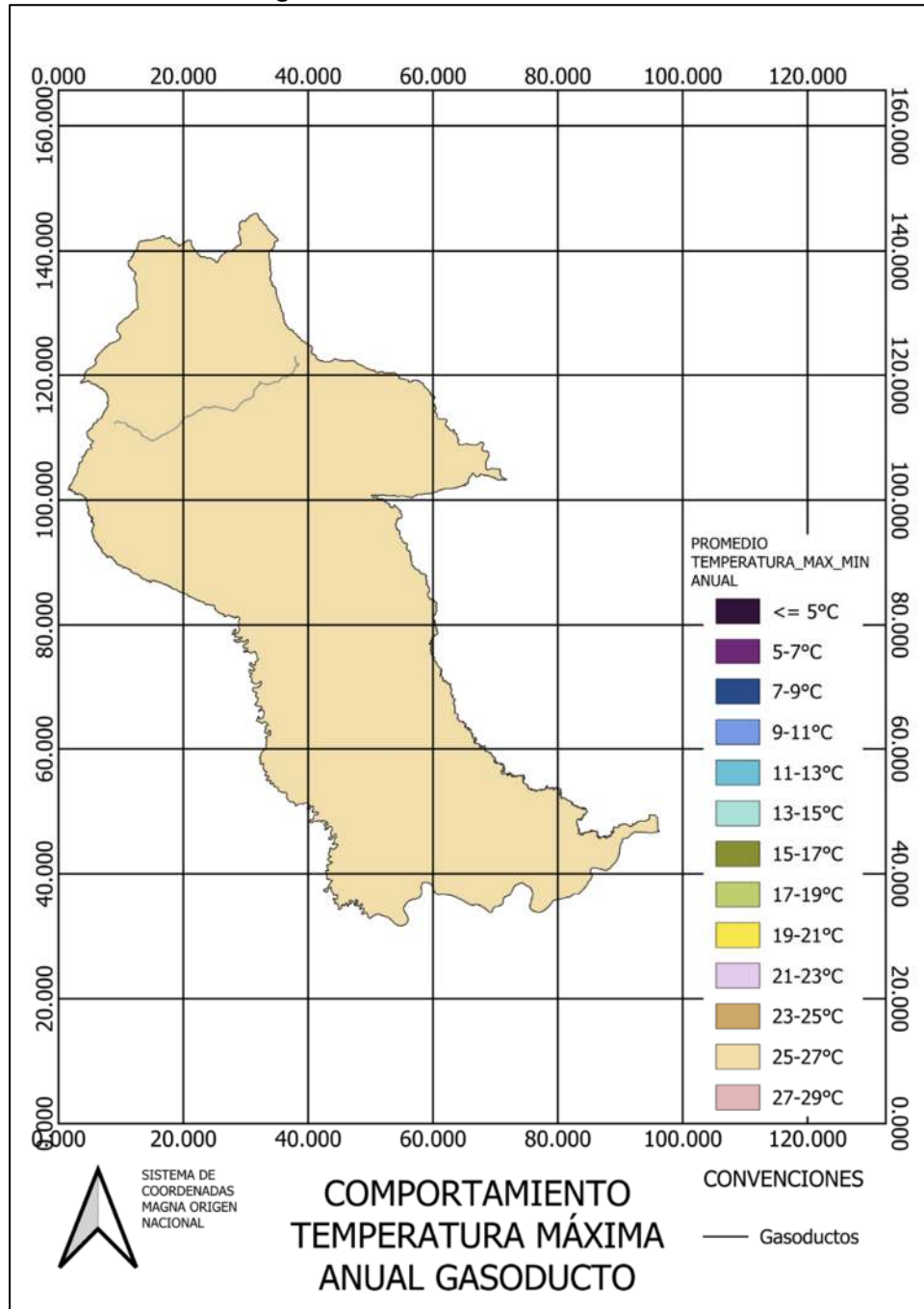
En cuanto a las temperaturas, la máxima se sitúa entre 26°C y 34°C (**Figura 6**), mientras que para la segunda ésta oscila entre los 16°C y los 18°C (**Figura 7**). Los meses con mayores temperaturas máximas son diciembre a marzo, y los de temperaturas mínimas son junio a agosto.

Figura 5. Comportamiento de la precipitación anual del periodo 1991-2014 en la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir



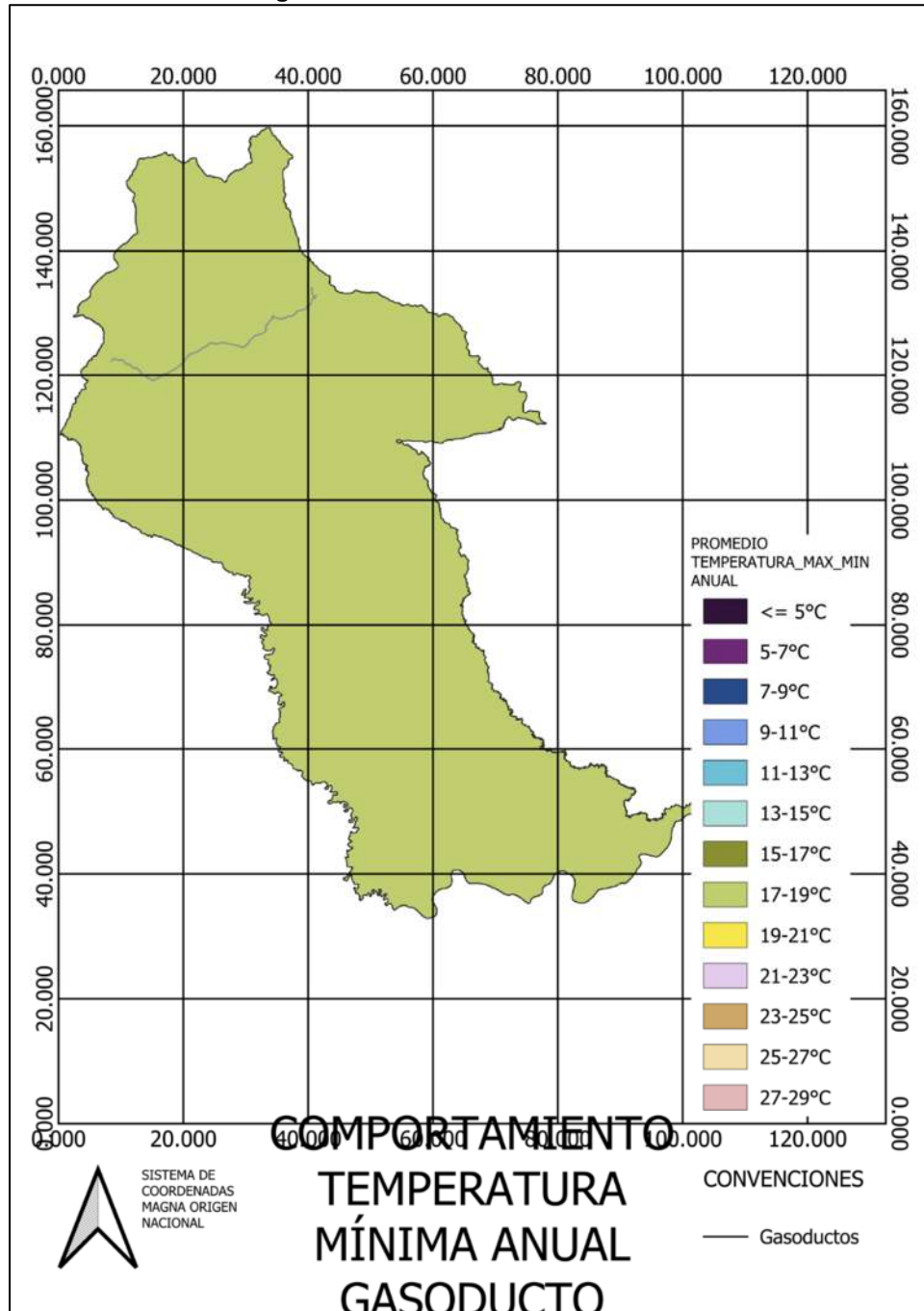
Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

Figura 6. Comportamiento de la temperatura máxima anual del periodo 1991-2014 en la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir



Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

Figura 7. Comportamiento de la temperatura mínima anual del periodo 1991-2014 en la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir

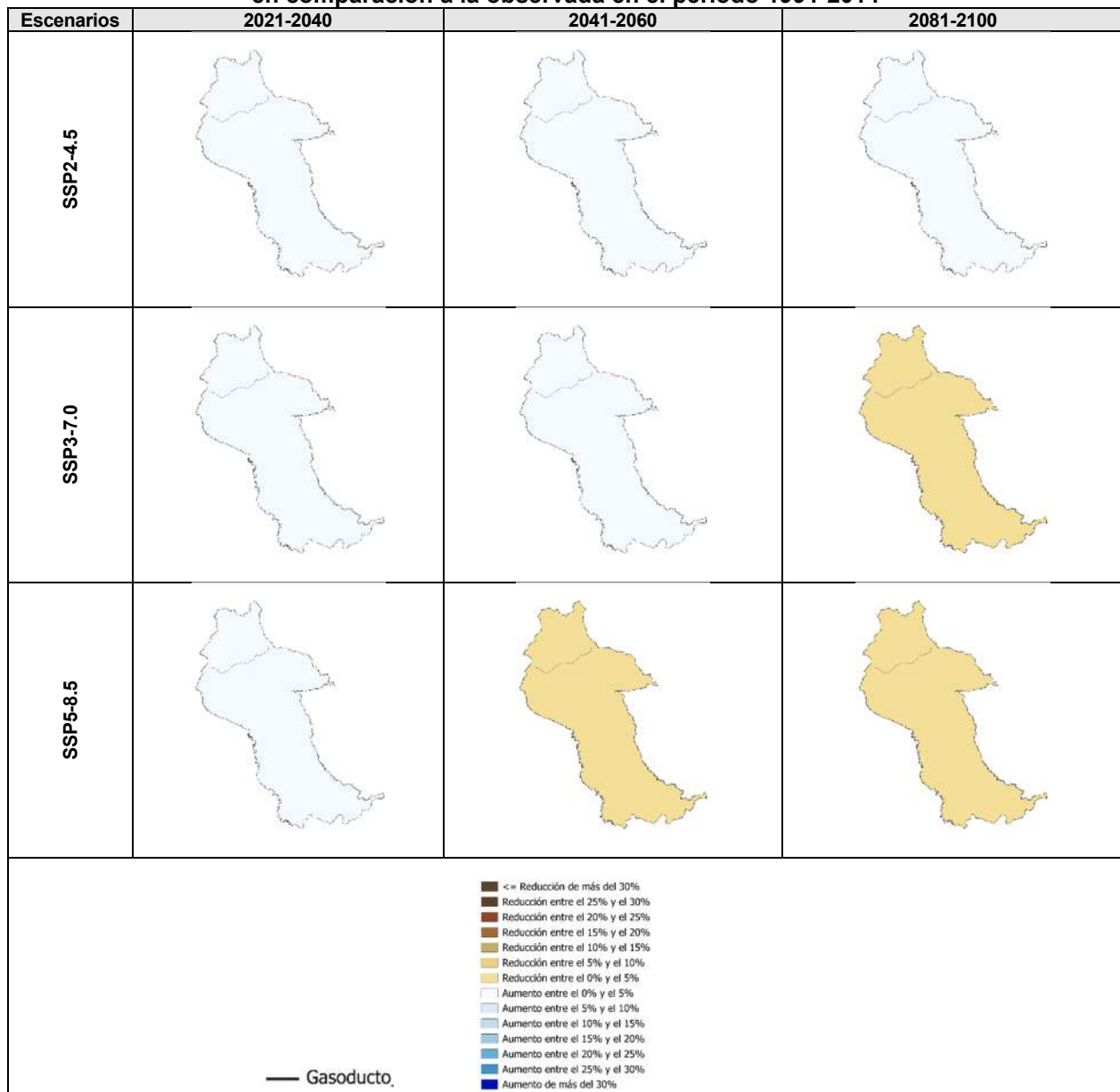


Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.2.3.1 Escenarios de Precipitación

En cuanto a los datos de precipitación, se espera para el escenario SSP2-4.5 un leve aumento que oscila entre el 0% y el 5% en las tres temporalidades evaluadas. Para el escenario SSP3-7.0, se proyecta una disminución en la precipitación entre el 0% y el 5% durante el período 2081-2100. Finalmente, para el escenario SSP5-8.5, se anticipa una reducción en la precipitación entre el 0% y el 5% tanto para la temporalidad 2041-2060 como para el período 2081-2100 (Figura 8) (Ver Anexo 1 para más información).

Figura 8. Cambio porcentual (%) de la precipitación anual bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (por filas), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 (por columnas), en comparación a la observada en el periodo 1991-2014

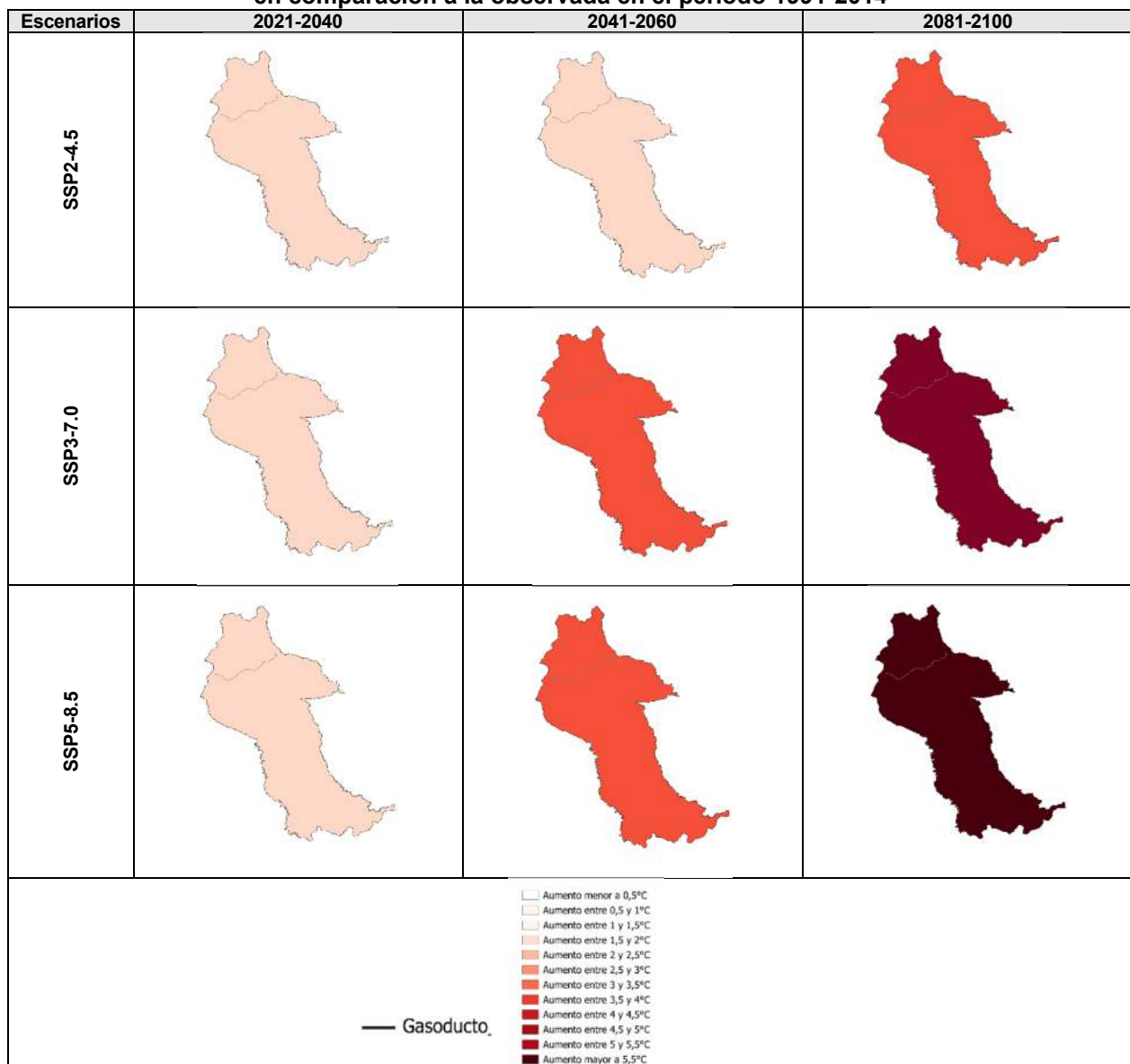


Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.2.3.2 Escenarios de Temperatura Máxima

En relación con la temperatura máxima, se proyecta que ésta aumentará en todos los periodos futuros en comparación al periodo histórico 1991-2014. En el corto plazo (2021-2040), se prevé un aumento de entre 1 y 1,4°C; para mediados de siglo (2041-2060) el incremento sería de 2 a 2,5°C. Hacia finales de siglo, bajo el escenario SSP2-4.5 se esperan temperaturas máximas entre 2,5 a 3°C más altas, entre 4 y 4,5°C superiores bajo el escenario SSP3-7.0 y de 5 a 5,5°C en el escenario SSP5-8.5. (Figura 9) (Ver Anexo 1.1 para más información).

Figura 9. Aumento (°C) de la temperatura máxima anual bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5- 8.5 (por filas), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 (por columnas), en comparación a la observada en el periodo 1991-2014

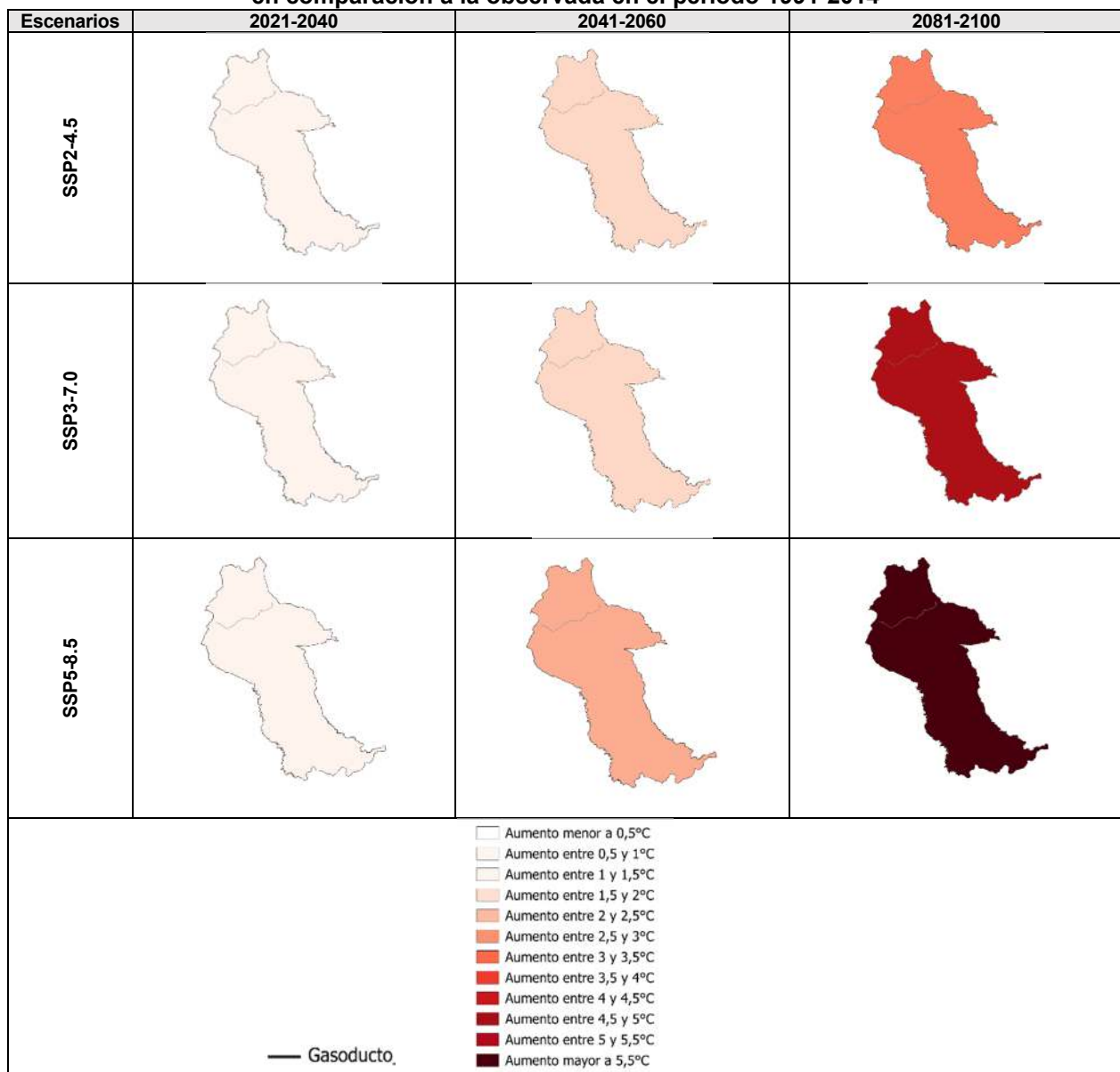


Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.2.3.3 Escenarios de Temperatura Mínima

Por último, la temperatura mínima también experimentaría aumentos en todos los periodos futuros bajo todos los escenarios, en comparación con el periodo histórico 1991-2014. En el periodo 2021-2040, se prevé un aumento de 0,5 a 1°C en los tres escenarios; para la mitad del siglo (2041-2060), se espera un incremento de 1 a 1,7°C en los tres escenarios. Para finales de siglo, bajo el escenario SSP2-4.5 se estima que las temperaturas mínimas serán entre 2 y 2,5°C más altas, entre 3,5 y 4°C superiores bajo el escenario SSP3-7.0 y de 4,5 a 5°C en el escenario SSP5-8.5. (**Figura 10**). (Ver **Anexo 1.2** para más información).

Figura 10. Aumento (°C) de la temperatura mínima anual bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (por filas), para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100 (por columnas), en comparación a la observada en el periodo 1991-2014



Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.3 Análisis de la Amenaza por Cambio Climático

Para la determinación de la amenaza, se utilizó como indicador principal el generado para el sector infraestructura en el análisis de vulnerabilidad para Colombia de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM; PNUD; MADS; DNP; Cancillería, 2017). Este indicador se denomina “Cambio proyectado en los daños a vías primarias y secundarias por inundaciones y deslizamientos debido a cambios en la precipitación”, y el mismo incorpora la relación entre los niveles de susceptibilidad a movimientos en masa e inundaciones que tiene un determinado lugar en el país con los posibles aumentos que se darían en las lluvias bajo distintos escenarios de cambio climático. Si bien en el caso de los gasoductos no se tratan propiamente de vías, éstos presentan las mismas afectaciones ante este tipo de eventos, y por ello se realiza un análisis similar al de la Tercera Comunicación Nacional.

4.2.3.1 Cambio Proyectado de la Precipitación Bajo Escenarios de Cambio Climático

Con base en los escenarios de cambio climático descritos anteriormente, y tomando específicamente los de la precipitación, se analizó el aumento que podría darse de ésta en el futuro cercano, lo cual generaría aumento en los desastres asociados a esta variable (deslizamientos, inundaciones, crecientes súbitas, entre otros) y los que ocasionarían afectaciones en los gasoductos de la zona del gasoducto Cusiana – El Porvenir.

Para este indicador, como el cambio futuro en las lluvias se presenta como un cambio porcentual del volumen de éstas, y como la afectación para la infraestructura está asociada principalmente al aumento de las lluvias, se tomaron únicamente los rangos y valores de aumento porcentual del volumen, y con base en ellos se establecieron los niveles o grados de amenaza que representarían (**Tabla 6**).

Tabla 6. Categorías de normalización establecidos para el indicador “Cambio proyectado de la precipitación bajo escenarios de cambio climático”

Porcentaje Proyectado de Aumento del Volumen de la Precipitación Anual	Nivel de Amenaza que Representa
Superior al 40%	5 – Muy alto
Entre 30% y 40%	4 – Alto
Entre 20% y 30%	3 – Moderado
Entre 10% y 20%	2 – Bajo
Inferior a 10%	1 – Muy bajo

Fuente: TCNCC, 2017. Adaptado por Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

De acuerdo con este indicador, para la troncal de la zona del gasoducto Cusiana – El Porvenir y el Loop de distribución, se tendría el mismo nivel de amenaza, siendo muy bajo, en la **Tabla 7** se pueden observar los valores obtenidos para el gasoducto, sin embargo, en el **Anexo 2** del presente documento pueden observarse los valores de amenaza obtenidos para la Troncal, siendo muy bajo al igual que en el LOOP.

Tabla 7. Niveles de amenaza del indicador “Cambio proyectado de la Precipitación bajo escenarios de cambio climático”, bajo los 3 escenarios SSP en los 3 periodos futuros analizados, para los tramos de la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP5-8.5	SSP5-8.5
			2021-2040	2041-2060	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2081-2100
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Cusiana - Porvenir	Troncal	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., con base en la información suministrada por TGI y la información secundaria disponible en entidades como el Servicio Geológico Colombiano e IDEAM, entre otros.

En concordancia con el capítulo 2 del Plan de Gestión de Riesgos y Desastres del Gasoducto Cusiana - El Porvenir (PGRDEPP), donde se evalúan diferentes amenazas a las que puede verse expuesto el gasoducto, algunas pueden verse afectadas por los cambios futuros en las precipitaciones, siendo la amenaza por movimientos en masa e inundación, por lo que se tomará como referencia los valores de amenaza generados en este documento para las amenazas por movimientos en masa e inundación, así poder evaluarlos en el escenario SSP2-4.5 y las 3 temporalidades modeladas.

4.2.3.2 Amenaza por Movimientos en Masa

Desde el numeral “2.1.3.1.5 Geotecnia”, del PGRDEPP del Gasoducto Cusiana - El Porvenir, se identifica la Zonificación de Susceptibilidad a los Movimientos en Masa, con base a la guía realizada por el Servicio Geológico Colombiano, SGC, el cual tiene en cuenta variables como el volumen de la precipitación, la unidad geológica del suelo, cobertura de la tierra, entre otras, además, de agregar los reportes suministrados por TGI de los sectores donde se habían presentado movimientos en la Troncal, de acuerdo con esto, el Derecho de Vía del Gasoducto Cusiana - El Porvenir, se encontraba mayoritariamente en áreas de Baja y Moderada susceptibilidad a los movimientos en masa, MM, 54,73% y 40,77% respectivamente y el 3,70% en áreas de Alta susceptibilidad.

Para evaluar la estabilidad en 2024 se procedió a recalificar las zonas del derecho de vía, asignando una categoría inferior a las áreas en las que de acuerdo al reconocimiento de campo de los inspectores de TGI, en 2023 se adecuaron las obras de protección por ejemplo si el sector estaba en categoría Moderada, la acción de las obras permite bajar esta susceptibilidad a la categoría Baja, del mismo modo, la presencia de procesos geotécnicos por el contrario acentúa la susceptibilidad y la categoría moderada pasaría a alta, donde predominan las área de Baja amenaza en el 53,37% del sistema seguidas por las de Moderada con el 23,401%.

Con base en los niveles de amenaza del indicador presentado “Cambio proyectado de la Precipitación bajo escenarios de cambio climático” y los valores presentes de “Amenaza por remoción en masa”, y teniendo como elemento expuesto los tramos de la zona del gasoducto, se realizó el cálculo de los niveles de amenaza futura, bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100, los resultados de estos se puede observar en el **Anexo 2** adjunto a este documento.

Como se menciona anteriormente el 76,77% del gasoducto se encuentra en una susceptibilidad moderada y baja, a su vez el nivel de amenaza por aumento en la precipitación bajo el escenario solicitado, siendo el SSP2-4.5 y en todos los periodos futuros es muy baja (**Tabla 8**), de tal forma que se reduce el nivel de susceptibilidad del gasoducto, ajustándose a un nivel bajo de amenaza, dejando solo el 7,73% del gasoducto en un nivel moderado, a su vez, tanto la troncal como el Loop, reciben la misma calificación de importancia, siendo indispensables para la operación.

En el **Anexo 2** del presente documento puede se puede consultar con mayor detalle el grado de amenaza por movimientos en masa para el resto de los escenarios y temporalidades, de los tramos regulatorios (troncal y Loop).

Tabla 8. Nivel de amenaza por movimientos en masa en el Gasoducto Cusiana – El Porvenir, para el escenario SSP2 – 4.5 y las 3 temporalidades

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Grado	Valor	Longitud	Tramo (%)	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Muy Alta	5	801,34	2,44%	3	3	3
2			Alta	4	3.979,51	12,12%	3	3	3
3			Media	3	10.230,38	31,16%	2	2	2
4			Baja	2	16.216,27	49,39%	2	2	2
5			Muy Baja	1	1.606,6	4,89%	1	1	1
6	Cusiana - Porvenir	Troncal	Muy Alta	5	804,7	2,39%	3	3	3
7			Alta	4	3.926,45	11,64%	3	3	3
8			Media	3	10.157,1	30,12%	2	2	2
9			Baja	2	17.243,76	51,13%	2	2	2
10			Muy Baja	1	1.590,68	4,72%	1	1	1

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.3.3 Amenaza por Inundación

Desde el numeral “2.1.3.4 Identificación y Evaluación de Amenazas Exógenas sobre la Infraestructura de TGI” del PGRDEPP, se evalúa el grado de amenaza presente por inundación, tomándose como base el mapa geomorfológico producto de la información secundaria obtenida del geoportal del Servicio Geológico y a partir de fotointerpretación de imágenes aéreas del Google Earth, se calificaron las unidades de acuerdo con la probabilidad de ser afectadas por inundaciones, de forma tal, que las unidades más próximas a los cuerpos de agua corresponden a áreas con amenaza alta y las más alejadas y topográficamente más altas las de menor amenaza, estableciendo que el grado de amenaza por inundación más recurrente para el gasoducto se encuentra entre el nivel medio y bajo.

Con base en los niveles de amenaza del indicador presentado “Cambio proyectado de la Precipitación bajo escenarios de cambio climático” y los valores presentes de “Amenaza por inundación”, y teniendo como elemento expuesto los tramos de la zona del gasoducto, se realizó el cálculo de los niveles de amenaza futura, bajo los escenarios SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 para los periodos futuros 2021-2040, 2041-2060 y 2081-2100, los resultados de estos se puede observar en el **Anexo 2** adjunto a este documento.

Según los valores obtenidos en la valoración de la amenaza de inundación desde el PGRDEPP, la mayor parte de los elementos expuestos del gasoducto presentan niveles bajos, a su vez, el nivel de amenaza por aumento en la precipitación es muy baja en el escenario, siendo el SSP2-4.5 (**Tabla 9**), de tal forma que se reduce el nivel de susceptibilidad del gasoducto en los niveles moderados.

Tabla 9. Nivel de Amenaza por Inundación para el Gasoducto Cusiana - El Porvenir, para el escenario SSP2 – 4.5 y las 3 temporalidades

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Grado	Valor	Longitud	Tramo (%)	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Alta	4	1,174.23	3,48%	3	3	3
2			Media	3	17,802.35	52,79%	2	2	2
3			Baja	2	14,746.11	43,73%	2	2	2
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	Alta	4	1,228.02	3,74%	3	3	3
5			Media	3	17,833.1	54,31%	2	2	2
6			Baja	2	13,773.0	41,95%	2	2	2

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.2.3.4 Amenaza por Incendio de la Cobertura Vegetal

Desde el numeral “2.1.3.4 Identificación y Evaluación de Amenazas Exógenas sobre la Infraestructura de TGI” del PGRDEPP, se evalúa el grado de amenaza presente por incendio de la cobertura vegetal, con base a el “Protocolo Para La Realización De Mapas De Zonificación De Riesgos A Incendios De La Cobertura Vegetal¹⁴” establecido por el IDEAM, en el cual se tiene en cuenta variables como: la temperatura media, inventario del reporte de incendios territorial, valoración de la cobertura en términos del potencial y duración para la propagación de incendios, entre otras. Según los resultados el grado de amenaza más relevante tanto para el Loop como troncal se encuentra en un nivel alto.

Con base en los escenarios de cambio climático descritos anteriormente, se analizó el cambio en la temperatura media que podría darse de ésta en el futuro (**Tabla 11**), lo cual generaría aumento en los desastres asociados a esta variable (sequías, incendios forestales, desabastecimiento hídrico, entre otros) y los que ocasionarían afectaciones en los tramos de la zona del gasoducto. Para la valoración de la temperatura como amenaza, se tomaron los rangos y valores de temperatura media anual establecidos en la misma guía, esta valoración se puede observar en la **Tabla 10**.

Posteriormente, se realiza el cruce de los niveles de amenaza obtenidos en el PGRDEPP con el nivel de amenaza por temperatura para los escenarios y temporalidades establecidas, generando los niveles de amenaza por incendio de cobertura vegetal en la **Tabla 12**.

Tabla 10. Amenaza por la temperatura a incendios forestales

Temperatura Media Anual (°C)	Nivel de Amenaza que Representa
< 6°	1 - Muy baja
6° - 12°	2 - Baja
13° - 18°	3 - Moderada
19° - 24°	4 - Alta
> 24°	5 - Muy alta

Fuente: Protocolo Para La Realización De Mapas De Zonificación De Riesgos A Incendios De La Cobertura Vegetal. IDEAM. 2011.

¹⁴ IDEAM, 2011. Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 / ajustado.

Tabla 11. Niveles de amenaza por "cambio de temperatura" para el gasoducto Cusiana - El Porvenir

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100	SSP3-7.0 2021-2040	SSP3-7.0 2041-2060	SSP3-7.0 2081-2100	SSP5-8.5 2021-2040	SSP5-8.5 2041-2060	SSP5-8.5 2081-2100
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	4	4	5	4	4	5	5	5	5
2	Cusiana - Porvenir	Troncal	4	4	5	4	4	5	5	5	5

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

Tabla 12. Nivel de amenaza por incendio de la cobertura vegetal para el gasoducto Cusiana - El Porvenir, para el escenario SSP2 – 4.5 y las 3 temporalidades

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Grado	Valor	Longitud	Tramo (%)	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Muy Alta	5	1.232,17	3,65%	5	5	5
2			Alta	4	30.020,86	89,02%	4	4	5
3			Media	3	2.469,67	7,32%	4	4	4
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	Muy Alta	5	1.255,14	3,82%	5	5	5
5			Alta	4	30.259,71	92,16%	4	4	5
6			Media	3	1.319,26	4,02%	4	4	4

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

De acuerdo con lo anterior, la zona del gasoducto Cusiana - El Porvenir, presenta valores de amenaza muy alta y alta, sin embargo, para la última temporalidad predomina el nivel de amenaza muy alto. En el **Anexo 2** del presente documento puede se puede consultar con mayor detalle el grado de amenaza por incendio de la cobertura vegetal para el resto de los escenarios y temporalidades de los tramos regulatorios (troncal y Loop).

4.3 FASE 3. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

El IPCC explica la vulnerabilidad como la predisposición de sufrir afectaciones negativas. Para el cálculo de esta se cuantifica dos variables, la primera la sensibilidad del proyecto, entendida como la susceptibilidad de ser afectado, y la falta de capacidad de afrontar y adaptarse a los cambios del clima y la segunda la capacidad adaptativa del mismo, entendida como la capacidad de los sistemas, las instituciones, los humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias generadas por los cambios del clima. A continuación, se presentará el cálculo de estos dos elementos:

4.3.1. Cuantificación de la Sensibilidad

Se entiende por sensibilidad, el análisis de los elementos que contribuyen a la materialización de un riesgo. Se debe considerar que la sensibilidad puede verse exacerbada por un agente amenazante en específico, por ello se parte del análisis de los diferentes impactos o afectaciones identificadas. Teniendo en cuenta lo anterior, se califica la posibilidad de ocurrencia de cada amenaza, y se califica la importancia del elemento expuesto, teniendo en cuenta el volumen de producto transportado, la cantidad de usuarios a los que suple necesidades. De esta forma se tiene la siguiente calificación para determinar la sensibilidad (**Tabla 13**).

Tabla 13. Calificación y Clasificación de la Centralidad y Alcance de las amenazas

Sensibilidad		Posibilidad de Ocurrencia		
		1 - Poco Posible	2 - Posible	3 - Muy Posible
Importancia Elemento Expuesto	1 - Auxiliar	Muy Bajo	Bajo	Moderado
	2 - Importante	Bajo	Moderado	Alto
	3 - Indispensable	Moderado	Alto	Muy Alto

Fuente: Ministerio de Minas y Energía. (2023). Lineamientos PIGCCe; Adaptado por Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

➤ Sensibilidad del Proyecto Frente a la Amenaza por Movimientos en Masa

Como se puede ver en la **Tabla 14**, el nivel de sensibilidad del proyecto abarca desde el nivel moderado hasta el muy alto, sin embargo, es predominante los niveles entre alto y muy alto, estos valores se deben en gran medida a la valoración en la importancia del elemento dentro de la operación, al ubicarse como indispensable. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 14. Grado de sensibilidad del proyecto por movimientos en masa para el gasoducto Cusiana - El Porvenir

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Grado	Tramo (%)	Sensibilidad		
					Importancia del Elemento Expuesto	Posibilidad de Ocurrencia	Valoración
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Muy Alta	2,44%	3	3	Muy alto
2			Alta	12,12%	3	3	Muy alto
3			Media	31,16%	3	2	Alto
4			Baja	49,39%	3	1	Moderado
5			Muy Baja	4,89%	3	1	Moderado
6	Cusiana - Porvenir	Troncal	Muy Alta	2,39%	3	3	Muy alto
7			Alta	11,64%	3	3	Muy alto
8			Media	30,12%	3	2	Alto
9			Baja	51,13%	3	1	Moderado
10			Muy Baja	4,72%	3	1	Moderado

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

➤ Sensibilidad del Proyecto Frente a la Amenaza por Inundación

Como se puede ver en la **Tabla 15**, el nivel de sensibilidad por inundación que predomina en el proyecto se ubica entre moderada y alta. Estos valores se deben en gran parte a la valoración en el elemento expuesto al clasificarlos como indispensables para la operación. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 15. Grado de sensibilidad del proyecto por Inundación para el Gasoducto Cusiana – El Porvenir

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Grado	Tramo (%)	Sensibilidad		
					Importancia del Elemento Expuesto	Posibilidad de Ocurrencia	Valoración
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Alta	3,48%	3	3	Muy alto
2			Media	52,79%	3	2	Alto
3			Baja	43,73%	3	1	Moderado
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	Alta	3,74%	3	3	Muy alto
5			Media	54,31%	3	2	Alto
6			Baja	41,95%	3	1	Moderado

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

➤ Sensibilidad del Proyecto Frente a la Amenaza por Incendio en la Cobertura Vegetal

Como se puede ver en la **Tabla 16**, predominan los niveles de sensibilidad muy alto, estos niveles son más altos a comparación de los otros eventos amenazantes debido a la categorización del nivel de amenaza, ya que para este evento predominan niveles entre alto y muy alto, a su vez, el que los elementos expuestos se califiquen como indispensables, también incide en la valoración final. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 16. Grado de sensibilidad del proyecto por incendio en la cobertura vegetal para el gasoducto Cusiana - El Porvenir

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Grado	Tramo (%)	Sensibilidad		
					Importancia del Elemento Expuesto	Posibilidad de Ocurrencia	Valoración
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Muy Alta	3,65%	3.00	3.00	Muy alto
2			Alta	89,02%	3.00	3.00	Muy alto
3			Media	7,32%	3.00	2.00	Alto
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	Muy Alta	3,82%	3.00	3.00	Muy alto
5			Alta	92,16%	3.00	2.00	Alto
6			Media	4,02%	3.00	2.00	Alto

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.3.2. Cuantificación de la Capacidad Adaptativa

La capacidad de adaptación de la empresa se determinará según los recursos, herramientas e instrumentos con los que dispone para atender la materialización de las amenazas, para esto se definieron seis indicadores:

- Indicador 1: índice de liquidez superior (25 %)
- Indicador 2: nivel de endeudamiento (25 %)
- Indicador 3: condiciones del recurso humano (15 %)
- Indicador 4: existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos (15%)
- Indicador 5: recursos operacionales (10 %)
- Indicador 6: marco normativo sectorial (10 %)

Por medio de la **Tabla 17**, puede verse los valores para cada ítem, estos se obtuvieron con base a la información financiera y administrativa de la empresa, para luego ser ponderado con el peso de cada indicador, al sumar los valores ponderados se obtiene que la capacidad adaptativa de la empresa es alta. Lo anterior se debe a la solidez en sus recursos financieros y empresariales, en el caso de su nivel de endeudamiento se encuentra en un nivel medio; es decir, que la empresa se encuentra en capacidad de financiar medidas o estrategias de aumento de capacidades para afrontar externalidades como el clima cambiante, además, de contar con un compromiso empresarial vigente pues se desarrolla la actualización de todos los PGDREPP para cada gasoducto y la elaboración de los PACC, esto permite la creación de estrategias que faciliten el proceso de gestión de emergencias, aumentando su resiliencia.

Tabla 17. Índice capacidad adaptativa

Aspecto	Peso Aspecto	Factores	Peso Factores	Criterio de Medición	Indicador	Valor	Peso Indicador	Valor Ponderado
Recursos financieros ¹⁵	50%	Nivel de liquidez media (Activo corriente / Pasivo corriente)	25%	El índice de liquidez de su empresa se encuentra	Índice de liquidez superior	100%	25%	25%
		Nivel de endeudamiento	25%	El nivel de endeudamiento de su empresa se encuentra	Nivel de endeudamiento	61%	25%	15%
Recursos empresariales	40%	Recursos humanos	15%	Condiciones del recurso humano ¹⁶	Porcentaje de contratación directa	100%	15%	15%
		Compromiso empresarial	15%	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos ¹⁷	Se han elaborado o están elaborando planes de adaptación/respuesta emergencias/información	100%	15%	15%
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	10%	Existencias de gremios o asociaciones de empresas ¹⁸	Afiliación a alguna agremiación	100%	10%	10%
Recursos institucionales	10%	Marco normativo sectorial	10%	Existencia de reglamentos técnicos y normativas internas que incluyan consideraciones del cambio climático ¹⁹	Numero de medidas referentes a la adaptación al cambio climático	22%	10%	2%
						Total	100%	82%

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

¹⁵ KPMG. (2023). Estados Financieros TGI. Al 31 de diciembre de 2023. Pag 10. (<https://www.grupoenergibogota.com/inversionistas/centro-de-resultados>).

¹⁶ TGI. (2021). Manual de Contratación y Control de Ejecución. (<https://www.tgi.com.co/grupos-de-interes/informacion-proveedores/normatividad-en-contratacion>).

¹⁷ Actualmente se está actualizando los PGRD de los 18 gasoductos que hacen parte de TGI y se está elaborando Planes de Adaptación al Cambio Climático para estos.

¹⁸ Relacionamiento entidades gubernamentales y organización gremiales: <https://www.tgi.com.co/nosotros/gremios>.

¹⁹ Gradex (2019). Capítulo 3. Componente Reducción del Riesgo. Expediente Ambiental LAM0299.

4.3.3. Vulnerabilidad del Sistema

Para este punto se debe tener en cuenta que la calificación y clasificación de la vulnerabilidad (**Tabla 18**), es diferente para cada componente del sistema y ante cada uno de los agentes amenazantes, de tal forma que al cruzar el valor de sensibilidad y la capacidad de adaptación da como resultado la calificación de la vulnerabilidad del sistema, definiendo los siguientes niveles de vulnerabilidad:

Tabla 18. Calificación y clasificación de la vulnerabilidad

Vulnerabilidad		Capacidad de Adaptación		
		Baja	Moderada	Alta
Sensibilidad	Muy Bajo	Moderada	Muy Baja	Muy Baja
	Bajo	Alta	Baja	Muy Baja
	Moderado	Alta	Moderada	Baja
	Alto	Muy Alta	Alta	Moderada
	Muy Alto	Muy Alta	Alta	Moderada

Fuente: Ministerio de Minas y Energía. (2023). Lineamientos PIGCce.

4.3.3.1 Vulnerabilidad del Sistema por Movimientos en Masa

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la sensibilidad anteriormente, y al cruzarlos con el valor de la capacidad adaptativa se obtienen valores entre moderado y bajo (**Tabla 19**), lo que quiere decir que aunque el proyecto es altamente sensible al cambio climático, la empresa tiene una capacidad adaptativa robusta que mitiga esta sensibilidad, resultando en una vulnerabilidad moderada, sin embargo, a pesar de la capacidad adaptativa, los eventos climáticos extremos y las incertidumbres asociadas con el cambio climático pueden presentar desafíos imprevistos que podrían superar las capacidades actuales, por lo que es crucial que la empresa continúe fortaleciendo sus estrategias adaptativas y monitoree continuamente los riesgos climáticos para mantener esta vulnerabilidad en niveles manejables. En el caso de los valores bajos, pasa lo contrario, el nivel de capacidad adaptativa de la empresa permite manejar los impactos climáticos de manera efectiva, reduciendo la vulnerabilidad general. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 19. Vulnerabilidad del sistema por movimientos en masa

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Sensibilidad Valoración	Capacidad adaptativa	Vulnerabilidad	Tramo (%)
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Muy alto	Alta	Moderado	45,72%
2			Muy alto	Alta	Moderado	
3			Alto	Alta	Moderada	
4			Moderado	Alta	Baja	
5			Moderado	Alta	Baja	
6	Cusiana - Porvenir	Troncal	Muy alto	Alta	Moderado	44,15%
7			Muy alto	Alta	Moderado	
8			Alto	Alta	Moderada	
9			Moderado	Alta	Baja	
10			Moderado	Alta	Baja	
						55,85%

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.3.3.2 Vulnerabilidad del Sistema por Inundación

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la sensibilidad anteriormente, y al cruzarlos con el valor de la capacidad adaptativa se obtienen valores entre moderado y bajo (**Tabla 20**), lo que quiere decir que aunque el proyecto es altamente sensible al cambio climático, la empresa tiene una capacidad adaptativa robusta que mitiga esta sensibilidad, resultando en una vulnerabilidad moderada, sin embargo, a pesar de la capacidad adaptativa, los eventos climáticos extremos y las incertidumbres asociadas con el cambio climático pueden presentar desafíos imprevistos que podrían superar las capacidades actuales, por lo que es crucial que la empresa continúe fortaleciendo sus estrategias adaptativas y monitoree continuamente

los riesgos climáticos para mantener esta vulnerabilidad en niveles manejables. En el caso de los valores bajos, pasa lo contrario, el nivel de capacidad adaptativa de la empresa permite manejar los impactos climáticos de manera efectiva, reduciendo la vulnerabilidad general. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 20. Vulnerabilidad del sistema por inundación

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Tramo (%)	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	Vulnerabilidad
				Valoración		
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	3,48%	Muy alto	Alta	Moderado
2			52,79%	Alto	Alta	Moderada
3			43,73%	Moderado	Alta	Baja
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	3,74%	Muy alto	Alta	Moderado
5			54,31%	Alto	Alta	Moderada
6			41,95%	Moderado	Alta	Baja

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.3.3.3 Vulnerabilidad del Sistema por Incendios Forestales

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la sensibilidad anteriormente, y al cruzarlos con el valor de la capacidad adaptativa se obtienen valores moderados, esto debido al valor en su sensibilidad (**Tabla 21**), lo que quiere decir que aunque el proyecto es altamente sensible al cambio climático, la empresa tiene una capacidad adaptativa robusta que mitiga esta sensibilidad, resultando en una vulnerabilidad moderada, sin embargo, a pesar de la capacidad adaptativa, los eventos climáticos extremos y las incertidumbres asociadas con el cambio climático pueden presentar desafíos imprevistos que podrían superar las capacidades actuales, por lo que es crucial que la empresa continúe fortaleciendo sus estrategias adaptativas y monitoree continuamente los riesgos climáticos para mantener esta vulnerabilidad en niveles manejables. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 21. Vulnerabilidad del sistema por incendio forestal

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Sensibilidad	Capacidad Adaptativa	Vulnerabilidad	Tramo (%)
			Valoración			
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	Muy alto	Alta	Moderado	100%
2			Muy alto	Alta	Moderado	
3			Alto	Alta	Moderada	
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	Muy alto	Alta	Moderado	100%
5			Alto	Alta	Moderada	
6			Alto	Alta	Moderada	

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

4.3 FASE 4. RIESGO CLIMÁTICO

En concordancia con lo anterior, se debe tener en cuenta que el riesgo también se diferencia entre cada componente del sistema, ante cada uno de los agentes amenazantes y es diferente para cada uno de los territorios en los que se presentan las operaciones. Para llegar al cálculo del riesgo climático total se debe realizar la clasificación del riesgo climático del sistema primero, el cual consta del cruce entre los resultados frente al nivel de vulnerabilidad y amenaza con la que cuenta el sistema. (Revisar **Anexo 3** para ver más a detalle).

4.4.1 Riesgo Climático del Sistema

Los valores obtenidos por riesgo para la amenaza por movimientos en masa como inundación presentaron valores entre muy bajo y moderado, sin embargo, se encuentra un mayor porcentaje del gasoducto dentro del riesgo bajo y muy bajo para las 3 temporalidades en el escenario SSP2-4.5. Para el escenario por incendio de la cobertura vegetal, se obtuvieron valores predominantes en un riesgo alto, en las 3

temporalidades, esto se debe a los valores altos de la amenaza en sí, pues se presentan temperaturas por encima de los 18°C en los territorios. En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

4.4.2 Riesgo Climático Total

Una vez se obtienen los resultados del riesgo climático del sistema estos se cruzan con los valores de riesgo que se presentan en los municipios por donde discurre el gasoducto, esto con el fin de evaluar y tener presente el riesgo que se presenta en el territorio debido al cambio y variabilidad climática, se debe recordar que estos valores son extraídos de la TCNCC.

Como se puede observar, tanto para el riesgo climático total por movimientos en masa (**Tabla 22**) como inundación (**Tabla 23**), predominan los valores de “muy bajo”, esto ofrece un buen panorama para el desarrollo de las actividades del proyecto pues debido a las condiciones operativas y de recursos de la empresa junto con la interacción del evento amenazante en el territorio, no logra potencializar la probabilidad de materialización del riesgo mediante impactos que logren interrumpir la operación. Aunque se presenten niveles de riesgo muy bajo, es importante priorizar la implementación de medidas de monitoreo y seguimiento.

Con relación al riesgo climático por incendio en la cobertura vegetal (**Tabla 24**), los valores se ubican en un nivel moderado para las tres temporalidades, lo que indica una predisposición a que se potencialice la probabilidad de materialización del riesgo mediante impactos que logren interrumpir la operación. Esto se debe a la interacción entre el evento amenazante y las condiciones del territorio, así como el riesgo por cambio climático de estos y las altas temperaturas proyectadas para el escenario SSP2-4.5, lo que aumentan la probabilidad de materialización del riesgo, afectando la operación.

En el **Anexo 3** del presente documento se puede consultar a mayor detalle esta información.

Tabla 22. Riesgo climático total por movimientos en masa

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Ponderación Riesgo CC - TCNCC	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100	
				Riesgo Climático Total	Riesgo Climático Total	Riesgo Climático Total	Tramo (%)
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	0,14	Bajo	Bajo	Bajo	14,56%
2				Bajo	Bajo	Bajo	
3				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	85,44%
4				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	
5	Cusiana - Porvenir	Troncal	0,14	Bajo	Bajo	Bajo	14,03%
6				Bajo	Bajo	Bajo	
7				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	85,97%
8				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	
9				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	
10				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

Tabla 23. Riesgo climático total por inundación

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Ponderación Riesgo CC - TCNCC	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100	
				Riesgo Climático Total	Riesgo Climático Total	Riesgo Climático Total	Tramo (%)
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	0,14	Bajo	Bajo	Bajo	3,48%
2				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	
3				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	96,52%
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	0,14	Bajo	Bajo	Bajo	3,74%
5				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	96,26%
6				Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	

Fuente: Gradex Ingeniería S.A. julio 2024.

Tabla 24. Riesgo climático total por incendio forestal

No.	Nombre del Tramo	Tipo de Ducto	Ponderación Riesgo CC - TCNCC	SSP2-4.5 2021-2040	SSP2-4.5 2041-2060	SSP2-4.5 2081-2100	
				Riesgo Climático Total	Riesgo Climático Total	Riesgo Climático Total	Tramo (%)
1	Loop Cusiana - Porvenir	Loop	0,14	Moderado	Moderado	Moderado	100%
2				Moderado	Moderado	Moderado	
3				Moderado	Moderado	Moderado	
4	Cusiana - Porvenir	Troncal	0,14	Moderado	Moderado	Moderado	100%
5				Moderado	Moderado	Moderado	
6				Moderado	Moderado	Moderado	

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

5. PLANIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Por medio de las metodologías utilizadas como la modelación de los diferentes escenarios de variabilidad climática y cambio climático junto con la del sector minero-energético para el análisis de riesgos climáticos, se lograron identificar las amenazas y el nivel de estas a las que se encuentra expuesto el gasoducto, de acuerdo con esto se plantearon seis medidas de adaptación, teniendo en cuenta reacondicionamientos a la infraestructura, monitoreos de algunas variables y capacitación al personal. (**Tabla 25** a la **Tabla 29**).

Tabla 25. Medida 1: Reacondicionamiento de la operación y mantenimiento hacia una infraestructura resiliente

Medida 1	Reacondicionamiento de la Operación y Mantenimiento hacia una Infraestructura Resiliente
Clasificación de la Medida de Adaptación	Infraestructura Resiliente
Ruta de abatimiento	Evitar emisiones – Senda de Mitigación.
Amenazas frente a las cuales aumenta la adaptación o la gestión del riesgo	Inundaciones. Movimientos en masa. Incendios Forestales.
Impacto	Económicos: pérdida de ingresos por paradas de producción. Ambientales: derrames o fugas debido a la infraestructura afectada. Sociales: afectación de las comunidades locales asociadas al proyecto. Riesgos operativos: seguridad de los trabajadores.
Descripción de la medida	El reacondicionamiento de infraestructura hacia una infraestructura resiliente en el gasoducto implica identificar las amenazas potenciales para el fortalecimiento de las instalaciones existentes, con el fin de resistir, adaptarse y recuperarse de los impactos del cambio climático y eventos extremos. Esto puede implicar la actualización de equipos, procedimientos, la mejora de las estructuras, la implementación de tecnologías más avanzadas y la incorporación de prácticas de gestión de riesgos climáticos.
Objetivo	Mejorar la capacidad de las instalaciones para resistir y recuperarse de los impactos del cambio climático, minimizando así los riesgos operativos, económicos y ambientales asociados. Además, busca garantizar la seguridad del personal y la continuidad de las operaciones en un entorno cada vez más variable y extremo por medio de acciones que conlleven a la reducción de la vulnerabilidad.
Hipótesis de Adaptación	Se espera que el reacondicionamiento de la operación y mantenimiento hacia una infraestructura resiliente en el sector hidrocarburos mejore la capacidad de las instalaciones para resistir y recuperarse de los impactos del cambio climático. Esto permitirá mantener la continuidad operativa, reducir los costos asociados con daños a la infraestructura y minimizar los riesgos para el personal y el medio ambiente en un contexto de cambio climático.
Meta	Priorizar los riesgos Climáticos de mayor impacto sobre la Empresa (articulando los Planes de Gestión del Riesgo de Desastres, los Planes de Adaptación al Cambio Climático, para aumentar su resiliencia ante cambio climático y eventos extremos en sus actividades de operación y mantenimiento.
Actividades principales para la implementación de la medida	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reconocimiento detallado de la vulnerabilidad de las instalaciones existentes frente a los riesgos climáticos y eventos extremos. ➤ Desarrollar un plan detallado para el reacondicionamiento de la infraestructura, priorizando las acciones necesarias para mejorar la resiliencia de las instalaciones. ➤ Llevar a cabo las actividades de reacondicionamiento, que pueden incluir cambio de materiales, recubrimientos, actualización de equipos, fortalecimiento de estructuras, mejora de sistemas de drenaje, entre otros. ➤ Capacitar al personal sobre la importancia de la resiliencia climática y las medidas específicas implementadas, así como fomentar una cultura organizacional centrada en la gestión de riesgos climáticos.
Área de implementación	<p>La priorización se realizará inicialmente por el grado de importancia del elemento expuesto y el grado de amenaza debido a la interacción del evento amenazante con el cambio proyectado en la precipitación y temperatura.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Movimientos en Masa: <ul style="list-style-type: none"> ◆ En este caso los valores de amenaza que tienen mayor presencia en la infraestructura son bajo y muy bajo, sin embargo, tanto la troncal como el Loop se califican como indispensables para la operación. ➤ Inundación:

Medida 1	Reacondicionamiento de la Operación y Mantenimiento hacia una Infraestructura Resiliente
Clasificación de la Medida de Adaptación	Infraestructura Resiliente
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ En este caso los valores de amenaza que tienen mayor presencia en la infraestructura son bajo y muy bajo, sin embargo, tanto la troncal como el Loop se califican como indispensables para la operación. ➢ Incendio Cobertura Vegetal: <ul style="list-style-type: none"> ♦ Tanto la troncal como el Loop, se ubican en niveles de amenaza alta y muy alta, sin embargo, sin embargo, ambos se califican como indispensables para la operación.
Plazo de implementación	Mediano y Largo Plazo (Acometidas, en implementación y planificación).

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 26. Medida 2: Planes de gestión de riesgos y desastres

Medida 2	Planes de Gestión de Riesgo y Desastres - PGRD
Clasificación de la Medida de Adaptación	Gestión del Entorno
Amenazas frente a las cuales aumenta la adaptación o la gestión del riesgo	Inundaciones. Movimientos en masa. Incendios Forestales.
Impacto	Daño en la infraestructura. Costos de reparación, daños a equipos y materiales. Pérdida de biodiversidad, degradación de ecosistemas.
Descripción de la medida	Disponer de un Plan de Gestión de Riesgo y Desastres que alerta de las principales emergencias, a fin de proteger y aminorar daños a personas viajeras, edificios e infraestructuras. Éste se encuentra integrado en el marco de la senda de atención de emergencias. En este sentido, la implementación de los PGRD (Planes de Gestión de Riesgo y Desastres) está actualmente reduciendo las consecuencias de los impactos que generan diversas amenazas clave para ambas organizaciones como las precipitaciones extremas, las olas de calor en el territorio nacional.
Objetivo	Salvaguardar las instalaciones y operaciones del gasoducto contra los efectos adversos de los riesgos exógenos, minimizando así los riesgos para la seguridad, el medio ambiente y la continuidad de la producción. Además, busca proteger a las comunidades locales y los ecosistemas cercanos de posibles derrames de sustancias químicas y otros peligros asociados con la infraestructura (Riesgo Tecnológico).
Hipótesis de Adaptación	Contar y consultar los planes de gestión de riesgo y desastres permite identificar los riesgos climáticos específicos que afectan al proyecto, además de considerar la vulnerabilidad del mismo ante estos riesgos. Así mismo, se busca la incorporación de estrategias para mitigar los riesgos identificados implementando también un monitoreo continuo.
Meta	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Mejorar la capacidad de respuesta y Resiliencia Comunitaria por medio de socializaciones, capacitaciones o simulacros en áreas de afectación establecidas en el PGRD. ➢ Establecer metodología para obtener riesgo individual, riesgo social y riesgo ambiental sobre la infraestructura de la empresa. ➢ Mejorar la coordinación y comunicación entre todas las partes involucradas, incluyendo autoridades, organizaciones no gubernamentales y la comunidad en general, por medio de un simulacro al año entre las partes. ➢ Fortalecimiento de la capacidad de respuesta por medio de un simulacro internos ante unos de las amenazas identificadas en el PGRD.
Actividades principales para la implementación de la medida	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Revisión del PGRD para sus respectivas actualizaciones. ➢ Programar y realizar capacitaciones y simulacros tanto al personal interno como las comunidades del área de influencia o posibles áreas de afectación. ➢ Diseñar los PGRD teniendo en cuenta el conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo del desastre. ➢ Elaborar planes de ayuda mutua PAM donde sea posible con entidades privadas o públicas ➢ Se debe tener en cuenta que la adaptación al cambio climático es un proceso continuo, y la gestión del riesgo debe ser flexible y adaptarse a las condiciones cambiantes del clima.
Área de implementación	Infraestructura de la empresa.
Plazo de implementación	Se implementará anualmente la actualización y revisión de estos.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 27. Medida 3: Monitoreo geotécnico

Medida 3	Monitoreo Geotécnico
Clasificación de la Medida de Adaptación	Planeación, Acciones y Proyectos
Ruta de abatimiento	No aplica.
Amenazas frente a las cuales aumenta la adaptación o la gestión del riesgo	Movimientos en masa.
Impactos a mitigar	Las amenazas geotécnicas pueden tener impactos graves en las operaciones del proyecto, como lo pueden ser daños a la infraestructura, interrupciones en la producción, riesgos para la seguridad del personal y costos adicionales asociados con la reparación y corrección de los efectos de los deslizamientos y otros eventos relacionados.
Descripción de la medida	El monitoreo geotécnico implica la instalación y operación de instrumentos de medición especializados para evaluar la estabilidad del suelo y predecir posibles movimientos o fallas. Estos instrumentos pueden incluir inclinómetros, piezómetros, extensómetros, medidores de deformación, estaciones meteorológicas y otros dispositivos diseñados para monitorear factores clave como la presión del agua, la inclinación del terreno y la deformación del suelo.
Objetivo	Identificar y evaluar el riesgo de eventos geotécnicos, como deslizamientos de tierra, para que las medidas preventivas y de mitigación puedan ser implementadas de manera oportuna. Al mantener un monitoreo constante, la empresa puede tomar acciones preventivas para proteger la infraestructura y la seguridad del personal, minimizando así los impactos negativos de estos eventos.
Hipótesis de Adaptación	Con el monitoreo geotécnico continuo y efectivo, se puede aumentar la capacidad de la empresa para anticipar y responder a eventos geotécnicos adversos. Esto permitirá una mejor gestión del riesgo, reduciendo los impactos negativos en las operaciones y la seguridad del personal.
Meta	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Garantizar la inspección de la infraestructura por medio de (2) recorridos generales al derecho de vía al año con el fin de detectar asentamientos, erosión y deslizamientos. Esto previene daños y asegura su funcionamiento continuo. ➢ Identificar riesgos potenciales, como hundimientos o movimientos de tierra, y tomar medidas preventivas mediante mediciones adicionales donde la empresa lo establezca necesario.
Actividades principales para la implementación de la medida	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identificación de fugas, señalización existente, eventos geotécnicos, obras de geotecnia, cruces especiales, cruces aéreos, clases de localidad, edificaciones, invasiones y perturbaciones sobre el derecho de vía. ➢ Seleccionar e instalar instrumentos de monitoreo geotécnico apropiados para las condiciones específicas del sitio, donde la empresa por medio de especialista geotécnico lo requiera. ➢ Identificación de obras sobre el derecho de vía para generación de coexistencias de proyectos.
Área de implementación	<p>La priorización se realizará inicialmente por el grado de importancia del elemento expuesto y el grado de amenaza por movimientos en masa como el cambio proyectado en la precipitación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Movimientos en Masa: <ul style="list-style-type: none"> ◆ En este caso los valores de amenaza que tienen mayor presencia en la infraestructura son bajo y muy bajo, sin embargo, tanto la troncal como el Loop se califican como indispensables para la operación.
Plazo de implementación	Mediano y largo plazo. (Acometidas, en implementación y planificación).

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 28. Medida 4: Cultura organizacional para adaptarse al cambio climático

Medida 4	Cultura Organizacional para Adaptarse al Cambio Climático
Clasificación de la Medida de Adaptación	Gobernanza y Comunicación
Amenazas frente a las cuales aumenta la adaptación o la gestión del riesgo	Inundaciones. Movimientos en masa. Incendios Forestales.
Impactos a mitigar	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Pérdidas económicas por daños a la infraestructura, interrupciones en la operación, costos de adaptación. ➢ Afectación a la salud de trabajadores. ➢ Pérdida de biodiversidad, degradación de ecosistemas, emisiones de gases de efecto invernadero.
Descripción de la medida	La "Cultura organizacional para adaptarse al cambio climático" se refiere a la creación de un entorno dentro de la operación del proyecto que fomente la comprensión, la acción y la responsabilidad frente al cambio climático.

Medida 4	Cultura Organizacional para Adaptarse al Cambio Climático
Clasificación de la Medida de Adaptación	Gobernanza y Comunicación
	<p>Implica promover una mentalidad y comportamientos dentro de la organización que reconozcan y respondan proactivamente a los desafíos y riesgos asociados con el cambio climático.</p> <p>Esta nueva cultura conlleva a la integración de consideraciones climáticas en todas las áreas de la empresa, desde la toma de decisiones estratégicas hasta las prácticas operativas diarias, y se caracteriza por:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Compromiso de la alta dirección: Reconocimiento del cambio climático como una amenaza real y priorización de la adaptación. ➤ Conciencia y conocimiento: Capacitación del personal sobre el cambio climático y sus impactos en el proyecto. ➤ Participación y empoderamiento: Involucramiento del personal en la identificación de riesgos y la implementación de medidas de adaptación. ➤ Comunicación y transparencia: Información clara y abierta sobre los riesgos y las acciones tomadas para afrontarlos. ➤ Innovación y aprendizaje continuo: Búsqueda de soluciones innovadoras y adaptación constante a nuevos escenarios. ➤ Colaboración y trabajo en equipo: Cooperación interna y externa para compartir conocimientos y experiencias.
Objetivo	<p>Fomentar una cultura organizacional que reconozca la importancia del cambio climático como un factor crítico que afecta las operaciones y la sostenibilidad del sector hidrocarburos.</p> <p>Promover la adopción de prácticas y decisiones empresariales que mejoren la resiliencia frente a los impactos climáticos.</p>
Hipótesis de Adaptación	<p>El proyecto puede identificar y gestionar mejor los riesgos climáticos, anticipar y responder eficazmente a eventos extremos, y desarrollar prácticas más sostenibles que contribuyan a su resiliencia a largo plazo.</p> <p>La inversión en cultura organizacional será rentable a largo plazo, considerando los costos evitados por daños e interrupciones.</p>
Meta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Integrar dentro de los riesgos estratégicos de la empresa los Riesgos Climáticos y sus respectivos controles dentro de la organización ➤ Socialización 2 veces al año con los colaboradores de la empresa el objetivo de los Planes de adaptación climática de la empresa. ➤ Elaboración del mapa de relacionamiento y mapa de actores.
Actividades principales para la implementación de la medida	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacitación y formación: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Implementar programas de capacitación para el personal sobre cambio climático, riesgos climáticos y medidas de adaptación. ➤ Integración de consideraciones climáticas: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Incorporar consideraciones climáticas en las políticas, procedimientos y decisiones empresariales, desde la planificación estratégica hasta las prácticas operativas diarias. ➤ Comunicación y sensibilización: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Difundir información sobre el cambio climático y sus impactos a través de diversos canales de comunicación. ➤ Participación y empoderamiento: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Crear espacios de participación para que el personal pueda aportar ideas y soluciones. ➤ Gobernanza: ➤ Desarrollar un mapa de relacionamiento en el que se establezca las relaciones de interés con los actores previamente identificados en la academia, industria, la ciudadanía y el gobierno, gremios y medios de comunicación.
Área de implementación	Todo el proyecto.
Plazo de implementación	Se implementará de forma continua y constante.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 29. Medida 5: Sistema de alertas tempranas

Medida 5	Sistema de Alertas Tempranas
Clasificación de la Medida de Adaptación	Planeación, Acciones y Proyectos
Amenazas frente a las cuales aumenta la adaptación o la gestión del riesgo	<p>Inundaciones. Movimientos en masa. Incendios Forestales.</p>

Medida 5	Sistema de Alertas Tempranas
Impactos a mitigar	<p>Económico: Pérdidas por daños a la infraestructura, interrupciones en la operación, costos de adaptación.</p> <p>Social: Afectación a la salud humana, desplazamiento de poblaciones, conflictos por recursos.</p> <p>Ambiental: Contaminación atmosférica e hídrica, pérdida de biodiversidad, degradación de ecosistemas, emisiones de gases de efecto invernadero, incendios forestales</p>
Descripción de la medida	<p>El "Sistema de alertas tempranas" para el proyecto consiste en la implementación de procedimientos, tecnologías y protocolos que permiten detectar y monitorear eventos climáticos extremos con antelación. Esto puede incluir el uso de estaciones meteorológicas (información secundaria), satélites, modelos climáticos y sistemas de información geográfica para prever la ocurrencia de eventos climáticos adversos y emitir advertencias con suficiente tiempo para tomar medidas preventivas, que permiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Enviar reportes al área operativa de los boletines del clima emitidos por el IDEAM cuando se generen amenazas en subcuencas en alerta amarilla y roja. ➤ Promover la obtención en 4 años la Instalación de sensores y estaciones meteorológicas cerca de las infraestructuras con algún tiempo de riesgo potencial para monitorear en tiempo real las condiciones climáticas. Geotécnicas Entrenamiento y capacitación el personal en la respuesta rápida y efectiva a las alertas emitidas, asegurando que las acciones necesarias se lleven a cabo en el menor tiempo posible.
Objetivo	Mejorar la preparación y respuesta del proyecto frente a los impactos del cambio climático al proporcionar alertas tempranas sobre eventos climáticos extremos. Esto permite que la empresa tome medidas preventivas y correctivas para reducir los riesgos para la seguridad del personal, la integridad de la infraestructura y la continuidad de la producción.
Hipótesis de Adaptación	Se espera que la implementación de un sistema de alertas tempranas permita anticipar y responder de manera más efectiva a los eventos climáticos extremos, reduciendo así su vulnerabilidad y aumentando su capacidad de adaptación al cambio climático. Esto puede conducir a una menor frecuencia e impacto de los incidentes relacionados con el clima y a una mayor resiliencia operativa en general.
Meta	Asegurar que al menos el 50% de las alertas generen una acción mitigadora en un periodo de 5 años.
Actividades principales para la implementación de la medida	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Promover la obtención en 4 años la Instalación de sensores y estaciones meteorológicas cerca de las infraestructuras con algún tiempo de riesgo potencial para monitorear en tiempo real las condiciones climáticas. Geotécnicas Entrenamiento y capacitación el personal en la respuesta rápida y efectiva a las alertas emitidas, asegurando que las acciones necesarias se lleven a cabo en el menor tiempo posible Realizar pruebas y simulacros de respuesta, evaluar la efectividad del sistema de alertas tempranas y realizar ajustes según sea necesario para mejorar su desempeño. ➤ Enviar reportes al área operativa de los boletines del clima emitidos por el IDEAM cuando se generen amenazas en subcuencas en alerta amarilla y roja.
Área de implementación	<p>La priorización se realizará inicialmente por el grado de importancia del elemento expuesto y el grado de amenaza tanto por el evento amenazante como el cambio proyectado en la precipitación y temperatura.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Movimientos en Masa: <ul style="list-style-type: none"> ♦ En este caso los valores de amenaza que tienen mayor presencia en la infraestructura son bajo y muy bajo, sin embargo, tanto la troncal como el Loop se califican como indispensables para la operación ➤ Inundación: <ul style="list-style-type: none"> ♦ En este caso los valores de amenaza que tienen mayor presencia en la infraestructura son bajo y muy bajo, sin embargo, tanto la troncal como el Loop se califican como indispensables para la operación. ➤ Incendio Cobertura Vegetal: <ul style="list-style-type: none"> ♦ Tanto la troncal como el Loop, se ubican en niveles de amenaza alta y muy alta, sin embargo, sin embargo, ambos se califican como indispensables para la operación.
Plazo de implementación	Mediano y largo plazo.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

6. PASO 3. MONITOREO Y EVALUACIÓN

El proceso de monitoreo y evaluación a las medidas de adaptación planteadas es fundamental para evaluar el avance en la implementación de las medidas, además de ayudar a identificar retrasos y obstáculos en la ejecución de estas, permitiendo así realizar ajustes y correcciones de ser necesario, de tal forma que permita la toma de decisiones informadas para mejorar la implementación de cada medida.

6.1 BATERÍA DE INDICADORES DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Para la selección de los indicadores se toma como base las medidas propuestas planteadas en el apartado anterior y el documento de “Indicadores de adaptación al cambio climático y mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) para el seguimiento de la obligación de cambio climático” propuesto por el ANLA. Se realiza una ficha por cada medida planteada, en cada una de estas se encontrará información para la identificación descripción y alcance del indicador con el fin de dar seguimiento a las medidas planteadas (**Tabla 30** a la **Tabla 34**).

Tabla 30. Indicador medida de adaptación 1

Nombre del indicador	Infraestructura resiliente
Código del indicador	Ind adap M1
Identificación del Indicador	
Tipo de indicador	Efectividad
Uso indicador	Cualquier interacción de reacondicionamiento de la infraestructura hacia una infraestructura resiliente
Periodicidad	Anual
Escala temporal de aplicación según el proyecto	> 1 año
Escala geográfica cálculo del indicador	Trayectos del gasoducto en donde el nivel de amenaza total es Alto o Muy Alto
Descripción del Indicador	
Definición	Mejorar la capacidad de las instalaciones para resistir y recuperarse de los impactos del cambio climático, minimizando así los riesgos operativos, económicos y ambientales asociados. Además, busca garantizar la seguridad del personal y la continuidad de las operaciones en un entorno cada vez más variable y extremo por medio de acciones que conlleven a la reducción de la vulnerabilidad.
Fórmula de cálculo	$IPR = \frac{PRE}{IE} \times 100$ <p>IPR: Número de instalaciones con planes de reacondicionamiento PRE: Número de planes de reacondicionamiento elaborados IE: Número total de instalaciones evaluadas</p>
Interpretación	Valores cercanos al 100% indican el estado de avance en la aplicación de la medida.
Alcance Indicador	
Línea base	Pendiente definir el año base y evaluar el valor del indicador.
Meta	Reacondicionar los elementos de la infraestructura bajo nivel de amenaza alto y muy alto, para aumentar su resiliencia ante cambio climático y eventos extremos.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 31. Indicador medida de adaptación 2

Nombre del indicador	Planes de Gestión de Riesgo y Desastres
Código del indicador	Ind adap M2
Identificación del indicador	
Tipo de indicador	Impacto
Uso indicador	Cualquier implementación y desarrollo para cada activo de la operación
Periodicidad	Anual
Escala temporal de aplicación según el proyecto	>1 año
Escala geográfica cálculo del indicador	Trayectos del gasoducto en donde el nivel de amenaza por inundación es muy alto.

Descripción del indicador	
Definición	Disponer de un Plan de Gestión de Riesgo y Desastres que alerta de las principales emergencias, a fin de proteger y aminorar daños a personas viajeras, edificios e infraestructuras. Éste se encuentra integrado en el marco de la senda de atención de emergencias. En este sentido, la implementación de los PGRD (Planes de Gestión de Riesgo y Desastres) está actualmente reduciendo las consecuencias de los impactos que generan diversas amenazas clave para ambas organizaciones como las precipitaciones extremas, las olas de calor en el territorio nacional.
Fórmula de cálculo	<p align="center">Reducción del Índice de Riesgo de Desastres (IRD)</p> <p align="center">Reducción del IRD (%) = (IRD Inicial - IRD Final / IRD Inicial)×100</p> <p>IRD Inicial: Es el valor del Índice de Riesgo de Desastres antes de implementar las acciones del plan de gestión</p> <p>IRD Final: Es el valor del Índice de Riesgo de Desastres después de la implementación del plan, medido en el mismo contexto y área geográfica.</p>
Interpretación	Valores cercanos al 100% indican que la aplicación de la medida está implementándose a todos los activos de la operación
Alcance indicador	
Línea base	Pendiente definir el año base y evaluar el valor del indicador.
Meta	Implementar y desarrollar PGRD para todos los activos de la operación

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 32. Indicador medida de adaptación 3

Nombre del indicador	Implementación de monitoreos geotécnicos
Código del indicador	Ind adap M3
Identificación del indicador	
Tipo de indicador	Efectividad
Uso indicador	Instalación y operación de instrumentos de medición
Periodicidad	Anual
Escala temporal de aplicación según el proyecto	>1 año
Escala geográfica cálculo del indicador	Tramos con amenaza por deslizamiento Alta y Muy Alta
Descripción del indicador	
Definición	El monitoreo geotécnico implica la instalación y operación de instrumentos de medición especializados para evaluar la estabilidad del suelo y predecir posibles movimientos o fallas. Estos instrumentos pueden incluir inclinómetros, piezómetros, extensómetros, medidores de deformación, estaciones meteorológicas y otros dispositivos diseñados para monitorear factores clave como la presión del agua, la inclinación del terreno y la deformación del suelo.
Fórmula de cálculo	<p align="center">%TM = (TM/TTG) * 100</p> <p>%TM = Porcentaje de tramos monitoreados TM = Tramos con monitoreo geotécnico TTG = Total de tramos del gasoducto</p>
Interpretación	Valores cercanos al 100 indican que la medida está siendo aplicada en el tramo completo del gasoducto.
Alcance indicador	
Línea base	Pendiente definir el año base y evaluar el valor del indicador.
Meta	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Implementar un sistema de monitoreo geotécnico en los tramos con amenaza por deslizamiento Alta y Muy Alta para el año 2026. ➢ Reducir en un 50% el número de accidentes geotécnicos en el sector para el año 2030.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 33. Indicador medida de adaptación 4

Nombre del indicador	Fortalecimiento de capacidades en cambio climático
Código del indicador	Ind adap M4
Identificación del Indicador	
Tipo de indicador	Impacto
Uso indicador	Cualquier interacción de transferencia de conocimiento en el marco del fortalecimiento de capacidades en cambio climático a personal del proyecto.

Periodicidad	Anual
Escala temporal de aplicación según el proyecto	>1 año
Escala geográfica cálculo del indicador	Todo el proyecto
Descripción del Indicador	
Definición	Este indicador buscar conocer el valor de conocimiento en cambio climático evaluado para las acciones del fortalecimiento de capacidades en cambio climático implementadas en temas de mitigación de GEI y adaptación al cambio climático dirigidas al personal del proyecto.
Fórmula de cálculo	$\text{FortCapCC} = (\text{FortCapI} - \text{FortCapP} / \text{FortCapI}) * 100$ <p>FortCapCC = Fortalecimiento de capacidades en cambio climático FortCapI = Valor de conocimiento en cambio climático evaluado sin aplicación de herramientas de fortalecimiento de capacidades en cambio climático FortCapP = Valor de conocimiento en cambio climático evaluado posterior a la implementación de herramientas de fortalecimiento de capacidades en cambio climático</p>
Interpretación	Valores mayores a 100% indican que el fortalecimiento de capacidades impacta a los individuos aplicados dejando conocimientos en cambio climático.
Alcance Indicador	
Línea base	No aplica
Meta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Integrar consideraciones climáticas en los procesos estratégicos y operativos del proyecto. ➤ Lograr que el 100% del personal asociado al proyecto esté capacitado en cambio climático y sus impactos. ➤ Implementar un sistema de gestión de riesgos climáticos en todas las operaciones del proyecto.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

Tabla 34. Indicador medida de adaptación 5

Nombre del indicador	Sistema de alertas tempranas
Código del indicador	Ind adap M5
Identificación del indicador	
Tipo de indicador	Efectividad
Uso indicador	Implementación de un sistema de alertas tempranas
Periodicidad	Anual
Escala temporal de aplicación según el proyecto	>1 año
Escala geográfica cálculo del indicador	Todo el proyecto
Descripción del Indicador	
Definición	El "Sistema de alertas tempranas" para el proyecto consiste en la implementación de tecnologías y protocolos que permiten detectar y monitorear eventos climáticos extremos con antelación. Esto puede incluir el uso de estaciones meteorológicas, satélites, modelos climáticos y sistemas de información geográfica para prever la ocurrencia de eventos climáticos adversos y emitir advertencias con suficiente tiempo para tomar medidas preventivas.
Fórmula de cálculo	$\%C = (\text{TC}/\text{TTG}) * 100$ <p>%C = Cobertura del sistema de alertas TC = Número de tramos cubiertos TTG = Total de tramos del gasoducto</p>
Interpretación	Valores cercanos al 100 indican que el total de tramos del gasoducto está siendo cubierto.
Alcance Indicador	
Línea base	No aplica.
Meta	Sistema de alertas tempranas que sea confiable, preciso y eficiente en la detección y notificación de eventos climáticos extremos relevantes para las operaciones del gasoducto.

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.

6.2 PLAN DE ACCIÓN PARA LAS MEDIDAS

Con el fin de definir una ruta clara para lograr los objetivos planteados, se definen tareas, responsables y plazos. El plan de acción planteado en el “**Anexo 4. Plan de acción**” busca garantizar los siguientes propósitos:

- Organización y Enfoque
- Seguimiento de Procesos
- Evitar Omisiones
- Flexibilidad y Adaptabilidad
- Comunicación y Alcance Compartido

Permitiendo así evaluar el progreso hacia esos objetivos y realizar ajustes según sea necesario, de igual manera se busca optimizar la eficiencia y productividad, evitando la repetición de esfuerzos y optimizando los recursos disponibles.

7. COMUNICACIÓN Y PARTICIPACIÓN

Con el fin de definir la gestión de las comunicaciones internas y externas relevantes para el Plan de Adaptación al Cambio Climático, se establece los contenidos, la periodicidad, los destinatarios, las personas responsables de la comunicación, así como los medios de esta. Asimismo, por medio de la divulgación y socialización del plan se busca promover la sensibilización frente al riesgo por cambio climático presente, la participación de diferentes actores, la corresponsabilidad social y la socialización de las medidas definidas.

La divulgación y socialización del Plan de Adaptación al Cambio Climático tendrá como objetivos:

- Informar y sensibilizar al personal relacionado con la operación del gasoducto sobre las amenazas y riesgos a los que está expuesto el proyecto, así como las medidas para lograr su disminución.
- Fortalecer las capacidades operacionales para afrontar los efectos de variabilidad y cambio climático, mediante la formación al personal.

7.1 POBLACIÓN OBJETIVO

El programa de divulgación y socialización del presente PACC, busca establecer espacios de comunicación dirigidos a los siguientes grupos de interés:

- Personal relacionado con la operación (directo y contratista): funcionarios del Centro Operacional de Gas del Distrito IV (Villavicencio).
- Entidades gubernamentales y entes de control: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (CORPORINOQUIA).
- Comunidad de los municipios donde está localizada la infraestructura del Sistema de Transporte Gasoducto Cusiana – El Porvenir.
- Junta directiva.

7.2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Con el fin de que la información llegue a los diferentes grupos de interés a tiempo y de manera correcta, que permitan difundir información clave sobre el plan de adaptación, como estrategias, medidas específicas, objetivos y logros, dentro de TGI se manejan los siguientes canales de comunicación.

7.2.1 Canales Digitales Internos

- Carteleras informativas
- Boletines de noticias
- Videos

7.2.2 Canales Digitales Externos

- Redes sociales
- Boletines electrónicos
- Sitio web TGI

7.2.3 Espacios Formativos

- Grupos focales
- Seminarios
- Mesas de trabajo y conferencias

7.3 PROGRAMA DE DIVULGACIÓN

Estas socializaciones se realizarán bajo dos modalidades, a saber, presencial y virtual. Las socializaciones del plan se realizarán de manera presencial en aquellos sitios ubicados en el área de afectación directa del Sistema de Transporte y:

- Con una valoración de riesgo cuantitativo “Alto” o “Muy Alto” de acuerdo con los resultados de la valoración del riesgo presentados en el 4.4.2 del presente plan.
- Donde la vulnerabilidad del sistema sea valorada como alta según lo presentado en el numeral 4.3.3 del presente plan.
- Cuentan con requerimientos específicos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) que solicitan socializaciones presenciales.

Por otra parte, las socializaciones del plan se realizarán de manera virtual en aquellos sitios con requerimiento de la ANLA que solicita esta actividad sin especificar la obligatoriedad de la presencialidad.

En la **Tabla 35** se plantea el programa de divulgación y socialización de este documento; será la Subdirección Ambiental de TGI el área encargada de la realización de estas jornadas de socialización, mediante talleres presenciales o virtuales con los funcionarios y aliados estratégicos, así como bajo las dos modalidades arriba descritas con las entidades municipales, con una duración máxima de 2 horas.

Tabla 35. Programa de divulgación y socialización del PACC

Población Objetivo	Frecuencia	Temática
Personal relacionado con la operación (directo y contratista)	Una (1) actividad al año	<ul style="list-style-type: none"> • Contexto del Cambio Climático • Escenarios de riesgos por Cambio Climático y Variabilidad Climática • Clasificación de amenazas • Medidas de adaptación para el gasoducto • Procedimientos de monitoreo y evaluación para las medidas



GESTIÓN SOCIO AMBIENTAL Y DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

**Plan de Adaptación al Cambio Climático
Gasoducto Cusiana – El Porvenir**

Código:

Revisión: Final

Emisión: 30-septiembre-2024

Población Objetivo	Frecuencia	Temática
Entidades gubernamentales y entes de control de los municipios en el área de afectación directa del Sistema de Transporte Gasoducto Cusiana - El Porvenir	Según planeación definida anualmente	<ul style="list-style-type: none"> • Escenarios de riesgos por Cambio Climático y Variabilidad Climática • Clasificación de amenazas • Medidas de adaptación para el gasoducto • Procedimientos de monitoreo y evaluación para las medidas
Junta Directiva	Una (1) actividad al año	<ul style="list-style-type: none"> • Contexto del Cambio Climático • Escenarios de riesgos por Cambio Climático y Variabilidad Climática • Clasificación de amenazas • Medidas de adaptación para el gasoducto • Procedimientos de monitoreo y evaluación para las medidas
Comunidad en el área de afectación	Según planeación definida anualmente	<ul style="list-style-type: none"> • Contexto del Cambio Climático • Escenarios de riesgos por Cambio Climático y Variabilidad Climática • Clasificación de amenazas

Fuente: Gradex Ingeniería S.A., julio 2024.