



IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PL4N3T PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE EMISIONES GEI. CASO DE ESTUDIO - SPEC LNG

IMPLEMENTATION OF THE PL4N3T TECHNOLOGICAL TOOL FOR
COMPREHENSIVE GHG EMISSIONS MANAGEMENT. CASE STUDY - SPEC LNG

Angélica María Cordero Dávila
María Camila Fajardo Sanabria
Jhorman Alcides Sarmiento Figueroa

Asesora:
Ana María Gomez Trujillo

Universidad EAFIT
Escuela de Administración
MAESTRÍA EN SOSTENIBILIDAD
MEDELLÍN
2024

CONTENIDO

Resumen	8
Abstract	10
Listado de palabras claves	12
Highlights o mensajes descatados	13
Infográfico.....	15
Dedicatoria	16
Introducción.....	17
Planteamiento del problema.....	23
Justificación.....	25
Objetivos	28
Objetivo general.....	28
Objetivos específicos	28
Marco teórico o marco conceptual	29
Diseño metodológico.....	35
Consideraciones éticas	39
Confidencialidad y anonimato.....	39
Conflicto de intereses	40
Tratamiento ético de los datos.....	41
Manipulación y sesgo	42
Cumplimiento de regulaciones y directrices.....	42
Hallazgos y resultados	44
Parametrización de PL4N3T con datos históricos y factores de emisión.....	53
Discusión.....	57

Objetivo específico 1. Identificación de las principales fuentes de emisión	57
Objetivo específico 2: Configuración de PL4N3T con datos históricos y factores de emisión	59
Objetivo específico 3: Estrategia de comunicación para divulgar resultados.....	61
Plan de acción.....	63
Conclusiones.....	65
Contribución a los ODS	68
ODS 13: acción por el clima	68
<i>Meta 13.2: Incorporar medidas sobre el cambio climático en las políticas, estrategias y planeamientos nacionales.....</i>	68
<i>Meta 13.3: Mejorar la educación, la concientización y la capacidad humana e institucional sobre la mitigación del cambio climático, la adaptación, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.</i>	68
ODS 9: industria, innovación e infraestructura.....	69
<i>Meta 9.1: Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad.....</i>	69
<i>Meta 9.2: Promover una industrialización inclusiva y sostenible.....</i>	69
<i>Meta 9.3: Aumentar el acceso de las pequeñas industrias a los servicios financieros y su integración en las cadenas de valor</i>	70
<i>Meta 9.4: Modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles.....</i>	70
<i>Meta 9.5: Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica</i>	71
Impacto del trabajo de grado al desarrollo sostenible	72
Mapa de impacto	73
Supuestos de la valoración y datos considerados	74
Síntesis de resultados del cálculo del SROI y análisis.....	77

Usos potenciales de los resultados	81
Biografías	82
Agradecimientos y reconocimientos	85
Referencias Bibliográficas	86
Anexos	90

LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1. Relación de informante y cargos a entrevistar.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2. Fuentes secundarias de información</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3. Identificación de fuentes directas.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4. Emisiones directas 2021-2023.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5. Equipos asociados al consumo de energía eléctrica</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6. Emisiones por uso de energía 2021-2023.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 7. Fuentes indirectas de productos y servicios usados por la organización.</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8. Emisiones indirectas productos y servicios usados por la organización.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9. Emisiones directas discriminadas por GEI.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10. Plan de acción implementación software PL4N3T.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 11. Mapa de impacto.</i>	<i>76</i>

LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1. Implementación Herramienta PL4N3T</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Huella de Carbono 2021-2023. Fuente SPEC LNG</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3. Selección de emisiones a gestionar</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4. Adaptación factures de emisión.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5. Dashboard PL4N3T.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 6. Fuentes de emisión y su nivel de importancia.....</i>	<i>58</i>

**IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PL4N3T PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE EMISIONES GEI. CASO DE ESTUDIO - SPEC LNG**

Resumen

Este estudio analiza la implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T para la gestión integral de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en SEPC LNG, la primera terminal de importación, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL) en Colombia. La investigación parte del desafío de cuantificar con precisión la huella de carbono en un sector crítico como el GNL, donde las emisiones significativas de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) plantean retos para la sostenibilidad.

El diseño metodológico se basó en un estudio de caso cualitativo, que combinó entrevistas semiestructuradas con informantes clave de diferentes áreas operativas en SEPC LNG, observación directa de procesos y un análisis documental de reportes históricos. La triangulación de estas fuentes permitió un diagnóstico sobre la situación actual de la gestión de emisiones en SEPC LNG y la eficacia de la herramienta implementada.

Entre los hallazgos más relevantes se identificó que la mayor parte de las emisiones se concentra en el uso de generadores y en los venteos de vapor de gas, destacándose también la importancia de optimizar procesos durante periodos de baja demanda. La implementación de PL4N3T fortaleció la capacidad de cuantificación y mejoró la trazabilidad de los datos. Sin embargo, aún persisten retos para optimizar la divulgación interna y externa de resultados, un aspecto clave para apoyar la toma de decisiones estratégicas y avanzar en los objetivos de sostenibilidad de la organización.

El estudio concluye que la implementación de herramientas digitales como PL4N3T representa un avance importante en la gestión operativa y en el fortalecimiento de los procesos de monitoreo y reporte de emisiones. Estas mejoras contribuyen a consolidar las bases para un desempeño ambiental más detallado. Asimismo, se proponen recomendaciones para seguir optimizando la integración tecnológica y maximizar el impacto ambiental positivo, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 9 y el ODS 13.

Abstract

This study analyzes the implementation of the technological tool PL4N3T for the comprehensive management of greenhouse gas (GHG) emissions at SPEC LNG, the first terminal for the import, storage, and regasification of liquefied natural gas (LNG) in Colombia. The research addresses the challenge of accurately quantifying the carbon footprint in a critical sector such as LNG, where significant methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) emissions present key sustainability challenges.

The methodological design was based on a qualitative case study that combined semi-structured interviews with key informants from various operational areas at SPEC LNG, direct observation of processes, and documentary analysis of historical reports. The triangulation of these sources enabled a comprehensive diagnosis of the current state of emissions management at SPEC LNG and the effectiveness of the implemented tool.

Among the most relevant findings, it was identified that the majority of emissions are concentrated in the use of generators and gas vapor venting, also highlighting the importance of optimizing processes during periods of low demand. The implementation of PL4N3T strengthened the quantification capacity and improved data traceability. However, challenges remain in optimizing the internal and external dissemination of results, a key aspect to support strategic decision-making and advance the organization's sustainability objectives.

The study concludes that the implementation of digital tools such as PL4N3T represents a significant step forward in operational management and in strengthening emissions monitoring and reporting processes. These improvements help consolidate the foundation for more detailed environmental performance. Additionally, recommendations are proposed to continue optimizing technological integration and maximize positive environmental impact, in line with the Sustainable Development Goals, particularly SDG 9 and SDG 13.

Listado de palabras claves

Palabras clave:

- Gas Natural Licuado
- GEI
- Huella de carbono
- Análisis de datos
- ODS 13

Keywords:

- Liquefied Natural Gas
- GHG
- Carbon Footprint
- Data analytics
- SDG 13

Highlights o mensajes destacados

1. La implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T en SPEC LNG ha demostrado ser necesaria para optimizar la gestión integral de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero. A través de la parametrización detallada de fuentes y factores de emisión específicos de la operación, PL4N3T permite una cuantificación más precisa y una mejora significativa en la trazabilidad de la huella de carbono organizacional. Este avance es crucial para el cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y la contribución efectiva al #ODS13. #EmisionesGEI #Sostenibilidad

2. Nuestro análisis detallado en SPEC LNG, facilitado por PL4N3T, revela que las principales fuentes de emisiones de GEI se concentran en el consumo de gas natural, especialmente en los generadores, y en las quemas de vapor de gas. La herramienta permite priorizar la reducción de estas emisiones mediante la optimización de procesos, particularmente en escenarios de menor demanda de regasificación. Este enfoque es vital para avanzar hacia el #ODS13 y mejorar la #EficienciaEnergética en el sector energético.

3. El diagnóstico en SPEC LNG reveló que el consumo de gas natural en generadores y venteos críticos representan más de 500 tCO₂e anuales, mientras que las quemas en la FSRU generan más del 80% de las emisiones indirectas, lo que subraya la necesidad urgente de optimizar procesos de regasificación. #ODS13 #Emisiones #GestiónAmbiental

4. Si bien la implementación de PL4N3T ha marcado un avance significativo, identificamos una oportunidad importante en la mejora de la visualización de resultados a través del dashboard y en la estructuración de reportes técnicos más detallados. Optimizar la presentación y el análisis de la información permitirá a los tomadores de decisiones en SPEC LNG identificar tendencias rápidamente, detectar desviaciones y priorizar inversiones en tecnologías de reducción de emisiones, impulsando así el progreso hacia el #ODS13 y fomentando la #Innovación en la gestión ambiental.

5. Una estrategia de comunicación efectiva es esencial para divulgar los resultados de la gestión de emisiones de GEI en SPEC LNG, y PL4N3T juega un rol crucial en esto. Actualmente, los informes necesitan evolucionar hacia formatos más accesibles y comprensibles para diversos públicos, incluyendo análisis de tendencias y progresos en la mitigación. Al utilizar PL4N3T como herramienta central, se pueden generar informes dinámicos y transparentes que refuercen el compromiso de SPEC LNG con la sostenibilidad y su contribución al #ODS13, promoviendo la #Transparencia y la rendición de cuentas.

Infográfico

RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PL4N3T PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE EMISIONES GEI. CASO DE ESTUDIO - SPEC LNG

1 Principales hallazgos

- Fácil adaptación a las operaciones.
- Mayor comprensión de las fuentes de emisión y su comportamiento.
- Seguimiento tendencia de emisiones.
- Alineación con estándares usados por la organización (GHG Protocol e ISO 14064-1)

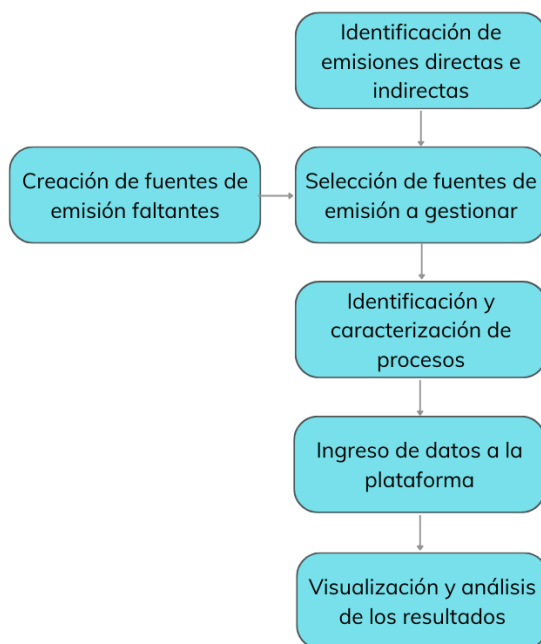
2 Principales desafíos

- Disponibilidad de fuentes de emisión requeridas.
- Mejorar visualización de los resultados.
- Mejorar visualización de los resultados.
- Optimizar la comunicación de resultados para distintos grupos de interés.

3 Oportunidades de mejora

- Mejorar visualización del dashboard y reportes.
- Incorporación de KPIs y análisis comparativos
- Creación de reportes personalizados según el usuario final.
- Uso de inteligencia artificial para análisis predictivo.

Etapas de la implementación

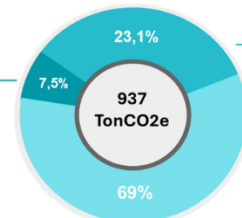


Fuentes identificadas

Alcance 1

Fuentes Móviles

Vehículos corporativos y lancha de Seguridad



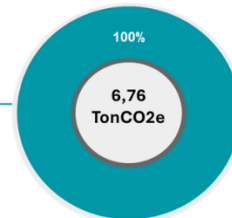
Emisiones Fugitivas
Venteos, refrigerantes y extintores

Fuentes Fijas
Generadores a gas y Diesel On Shore

Alcance 2

Energía eléctrica Adquirida

Vehículos corporativos y lancha de Seguridad

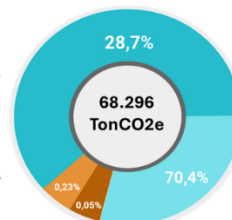


Alcance 3

Bienes Adquiridos y de capital

Compra de insumos y materiales para la operación

Disposición final de residuos



Otros Servicios Usados
Sistema de generación a gas y Diesel FSRU

Otros Servicios Usados
BOG en Exceso quemado en GCU

Figura 1. Implementación Herramienta PL4N3T

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, por ser la base de todo: por su amor, apoyo incondicional y por sostenernos en cada desafío que enfrentamos durante esta etapa. Este logro es también de ustedes.

A SPEC LNG, por abrirnos las puertas y confiar en nuestro trabajo. Haber podido aplicar este estudio en un entorno real nos permitió crecer profesionalmente y nos deja la satisfacción de haber aportado algo valioso a su compromiso con la sostenibilidad.

A Quiripa S.A.S., por acompañarnos de cerca durante este proceso y por apostar a la innovación tecnológica como herramienta clave para afrontar los retos ambientales. La herramienta PL4N3T fue fundamental para que este proyecto llegara a buen puerto.

Y, sobre todo, a todas las personas que trabajan día a día para proteger el medio ambiente y mitigar los efectos del cambio climático. Que este pequeño aporte sume a la causa colectiva de construir un futuro más sostenible y resiliente para las generaciones presentes y futuras.

Introducción

En las últimas décadas, el cambio climático ha emergido como uno de los desafíos globales más urgentes, impulsando a gobiernos, empresas y organizaciones a tomar medidas decisivas para mitigar sus impactos (World Economic Forum, 2022). La cuantificación y reducción de la huella de carbono ha cobrado gran relevancia dentro de las estrategias de sostenibilidad, particularmente en industrias de alta intensidad energética como la del gas natural licuado (GNL). Esta industria es considerada clave en la transición energética, ya que permite sustituir combustibles fósiles más contaminantes como el carbón y el petróleo, contribuyendo así a la reducción de las emisiones de carbono a nivel global (International Gas Union, 2024; United Nations Environment Programme, 2024). Sin embargo, a medida que los países y empresas se comprometen con metas de carbono-neutralidad, como las establecidas en el Acuerdo de París, la industria del GNL enfrenta una creciente presión para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Center on Global Energy Policy, 2021).

El GNL se ha convertido en una alternativa esencial para países que buscan una transición hacia fuentes de energía más limpias, especialmente en regiones como Asia y América Latina. En Asia, su demanda ha crecido significativamente como respaldo a las energías renovables intermitentes (McKinsey & Company., 2021). En América Latina, el GNL también ha emergido como una solución estratégica para compensar déficits de producción de gas natural y reducir la dependencia de combustibles más contaminantes (International Gas Union, 2024).

La región, con países como Brasil y Colombia, se encuentra en una posición donde el GNL desempeña un papel importante en la diversificación de la matriz energética y la reducción de las emisiones del sector industrial y de generación eléctrica (International Gas Union, 2024; LNG Industry, 2024).

A pesar de la relevancia del GNL en la transición hacia una matriz energética más limpia, la investigación sobre la implementación de herramientas tecnológicas para la gestión eficiente de emisiones de GEI en este sector es limitada, especialmente en América Latina (LNG Industry, 2019; LNG Industry 2024). Esta falta de estudios detallados sobre la cuantificación y el manejo de la huella de carbono en la región dificulta el desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades específicas de la industria del GNL (Center on Global Energy Policy, 2021). En comparación con otras regiones donde se han realizado avances en la implementación de metodologías y tecnologías de monitoreo, América Latina muestra una brecha significativa que debe abordarse para mejorar la autogestión de las emisiones en el sector (LNG Industry, 2019).

La empresa Sociedad Portuaria El Cayao S.A. E.S.P. (SPEC LNG), como único terminal de importación, almacenamiento y regasificación de GNL en Colombia, no es ajena a estos desafíos (SPEC LNG, 2024). En su esfuerzo por alinearse con las mejores prácticas internacionales y los objetivos nacionales de reducción de emisiones, SPEC LNG se enfrenta a la necesidad de mejorar su capacidad para cuantificar, monitorear y gestionar su huella de carbono. La empresa ha identificado limitaciones para analizar los datos de manera efectiva, identificar las fuentes de mayor emisión y comunicar los resultados para la toma de decisiones

estratégicas y operativas. Además, la falta de un software especializado para la gestión de la huella de carbono ha dificultado la autogestión del inventario de emisiones, lo que potencialmente limita la capacidad de la empresa para implementar acciones de mitigación más eficientes y rentables.

La revisión de la literatura disponible en bases de datos como SCOPUS revela una brecha significativa en estudios sobre la cuantificación de la huella de carbono y la adopción de tecnologías especializadas para la gestión de emisiones en la industria del GNL, especialmente en el contexto de América Latina. La falta de investigaciones detalladas sobre estos temas en la región constituye un desafío, ya que, a pesar de que el GNL desempeña un papel clave en la transición energética, la integración de tecnologías para el monitoreo y control de las emisiones sigue siendo limitada.

La elección de Colombia como foco de análisis en esta investigación se justifica por su posición estratégica en la industria del GNL, con SPEC LNG como el único terminal de regasificación del país (International Gas Union, 2024). Además, Colombia ha demostrado un compromiso firme con la reducción de emisiones, en línea con los objetivos del Acuerdo de París, estableciendo una meta de reducir sus emisiones de GEI en un 51% para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, lo que convierte al país en un escenario relevante para el estudio de soluciones tecnológicas aplicadas a la sostenibilidad en el sector energético (WWF, 2020).

En este contexto, surge la pregunta de investigación que guía este estudio: ¿Cómo puede la implementación de un software especializado para el análisis y

seguimiento de la huella de carbono mejorar la gestión del inventario de emisiones, identificar fuentes críticas, reducir costos y facilitar la toma de decisiones estratégicas y operativas en SPEC LNG?

Esta pregunta aborda los desafíos técnicos y operativos enfrentados por SPEC LNG, y explora cómo una solución tecnológica puede influir en la sostenibilidad general de la empresa y su contribución a los objetivos climáticos nacionales e internacionales.

En este sentido, el objetivo principal de esta investigación es implementar un software especializado que permita a SPEC LNG mejorar la autogestión de su inventario de emisiones, proporcionando una herramienta robusta para el análisis y seguimiento de la huella de carbono. Específicamente, se busca que el software permita a la empresa identificar las fuentes de emisión de mayor impacto, facilitando la implementación de medidas de mitigación más efectivas. Además, se espera que la automatización y el análisis avanzado de datos proporcionados por el software conduzcan a una reducción de costos operativos, mejorando así la eficiencia de la empresa. Finalmente, el estudio pretende mejorar el entendimiento y la comunicación de los resultados del inventario de emisiones dentro de la organización, lo que facilitará la toma de decisiones estratégicas y operativas informadas, alineadas con los objetivos de sostenibilidad de SPEC LNG.

Esta investigación tiene implicaciones prácticas para SPEC LNG, y pretende llenar un vacío significativo en la literatura académica sobre la gestión de la huella de carbono en la industria del GNL en América Latina. Al explorar el potencial de las herramientas tecnológicas en la gestión de emisiones, este estudio busca

ofrecer una guía para otras organizaciones en la región que enfrentan desafíos similares. Además, se espera que los hallazgos de esta investigación puedan informar políticas y estrategias regionales, contribuyendo a los esfuerzos globales para combatir el cambio climático y promover la sostenibilidad en el sector energético.

El documento está estructurado para analizar la implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T en SPEC LNG, con un enfoque en la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero. Comienza con el contexto general de la problemática, resaltando la importancia de reducir las emisiones de GEI en el sector del gas natural licuado (GNL) y la necesidad de implementar herramientas tecnológicas para optimizar su gestión.

El marco teórico desarrolla las bases conceptuales que sustentan el estudio, incluyendo un análisis de la relación entre el ciclo de vida del GNL y las emisiones de GEI, el papel de las herramientas tecnológicas en la gestión ambiental y el contexto regulatorio y de sostenibilidad en Colombia y América Latina.

Seguidamente, en la descripción metodológica, se detalla el diseño del estudio de caso, incluyendo entrevistas a informantes clave, observación directa y análisis documental. Se explican los métodos de análisis, como la codificación temática y la triangulación de datos, además de abordar consideraciones éticas como la confidencialidad y el manejo responsable de los datos. En la sección de hallazgos y resultados, se presentan los resultados de la información recolectada para luego ser analizados y discutidos en relación con objetivos de investigación y literatura previa.

Se incluye un plan de acción con conclusiones y recomendaciones específicas para optimizar su implementación, asignando responsabilidades y recursos. Además, se evalúa su contribución los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente al ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y al ODS 13 (Acción por el Clima).

Planteamiento del problema

La cuantificación precisa de la huella de carbono es un componente crítico para las estrategias de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la industria del gas natural licuado (GNL). A pesar de que el GNL es visto como una alternativa menos contaminante en comparación con otros combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, su ciclo de vida presenta desafíos significativos en términos de emisiones, especialmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Estas emisiones ocurren a lo largo de la cadena de valor del GNL, desde la extracción del gas, pasando por la licuefacción, el transporte, y finalmente, la regasificación (Howarth, 2023). Sin un enfoque adecuado para cuantificar estas emisiones, las ventajas ambientales del GNL pueden verse comprometidas.

En el contexto de América Latina, la falta de estudios específicos sobre la cuantificación de la huella de carbono en el sector del GNL ha limitado el desarrollo de herramientas y metodologías adaptadas a las condiciones de la región (Center on Global Energy Policy, 2021). Aunque el GNL ha ganado relevancia como una fuente energética estratégica, la gestión de sus emisiones sigue siendo insuficiente. Esto es particularmente relevante en Colombia, donde SPEC LNG, el único terminal de regasificación del país enfrenta desafíos importantes en la autogestión de su inventario de emisiones (International Gas Union, 2024).

SPEC LNG ha identificado limitaciones claras en su capacidad para cuantificar de manera eficiente las emisiones de metano y CO_2 que se generan a lo largo de sus operaciones. Esta falta de precisión en la medición de emisiones dificulta la

identificación de las fuentes de mayor impacto y, por lo tanto, la implementación de medidas de mitigación efectivas. Según Howarth (2024), las emisiones de metano durante el proceso de licuefacción y transporte pueden ser significativas, afectando el balance climático del GNL cuando se consideran horizontes de tiempo cortos, como los 20 años (Howarth, 2023). Esto resalta la necesidad de sistemas de monitoreo robustos que permitan una cuantificación precisa y continua de las emisiones para maximizar los beneficios climáticos del GNL.

Este problema se agrava por la falta de herramientas tecnológicas especializadas que puedan integrarse en los procesos de SPEC LNG para mejorar el análisis y seguimiento de la huella de carbono. Sin estas herramientas, la empresa enfrenta dificultades no solo para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones, sino también para comunicar de manera efectiva los resultados de sus esfuerzos a nivel estratégico y operacional. La implementación de un software especializado podría ayudar a llenar este vacío, proporcionando datos precisos que faciliten la toma de decisiones informadas y optimicen la eficiencia operativa de la empresa (Center on Global Energy Policy, 2021)

Justificación

La industria del GNL desempeña un papel fundamental en la transición hacia una matriz energética más limpia a nivel global. Este proceso implica la licuefacción del gas natural para su almacenamiento y transporte, lo que permite su distribución a regiones sin acceso a gasoductos. A pesar de que el GNL es considerado una fuente de energía menos contaminante que otros combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, el proceso de licuefacción, transporte y regasificación genera emisiones de GEI especialmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que deben ser gestionadas adecuadamente para asegurar su sostenibilidad (Howarth, 2024; Takam, Ghorayeb, & Bouallou, 2023).

En Colombia, la Sociedad Portuaria El Cayao LNG (SPEC LNG) se encuentra ubicada en el departamento de Bolívar, operando como la primera y única terminal de regasificación de GNL del país (SPEC LNG, 2024). Esta infraestructura es clave para garantizar el suministro de gas natural a diversos sectores de la economía nacional, contribuyendo a la estabilidad energética y a la reducción de la dependencia de combustibles más contaminantes. Dada su posición estratégica en la cadena de suministro del GNL, SPEC LNG enfrenta la responsabilidad de liderar prácticas sostenibles que reduzcan su huella de carbono, alineándose con los compromisos climáticos de Colombia, como la reducción del 51 % de las emisiones de GEI para 2030 y la meta de alcanzar la carbono-neutralidad para 2050 (WWF, 2020).

La implementación de la plataforma PL4N3T en SPEC LNG surge como una solución tecnológica innovadora para mejorar la gestión de las emisiones de GEI en la terminal. PL4N3T es una herramienta diseñada para facilitar la cuantificación y análisis de la huella de carbono en tiempo real, permitiendo a las organizaciones optimizar la recolección y procesamiento de datos sobre sus emisiones. Este sistema no solo mejora la trazabilidad y transparencia de la información, sino que también facilita la toma de decisiones estratégicas para la reducción de emisiones y la comunicación de resultados a los reguladores, clientes y otros grupos de interés (PL4N3T, 2024).

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de abordar los desafíos que enfrenta SPEC LNG en la gestión de su huella de carbono, especialmente en un contexto donde la transparencia y la precisión de los datos son cruciales para cumplir con las regulaciones ambientales y las expectativas del mercado. La implementación de PL4N3T podría posicionar a SPEC LNG como un referente en sostenibilidad dentro de la industria del GNL en Colombia y la región, mejorando su competitividad y alineándose con las metas nacionales e internacionales de reducción de emisiones (Howarth, 2024). Además, este proyecto contribuiría a cerrar la brecha de conocimiento existente en América Latina sobre la cuantificación de la huella de carbono en el sector del GNL, proporcionando una referencia práctica para otras terminales y actores de la industria que buscan adoptar tecnologías avanzadas para la gestión de sus emisiones (International Gas Union, 2024).

Esta investigación ofrece una solución específica para SPEC LNG y aporta conocimientos valiosos sobre la implementación de tecnologías de monitoreo en la industria energética. Esto es particularmente relevante en un contexto global donde la reducción de las emisiones de GEI es prioritaria, y donde se requieren estudios que demuestren cómo la digitalización y el análisis de datos pueden mejorar la eficiencia operativa y ambiental de las organizaciones (Howarth, 2024; Takam, Ghorayeb, & Bouallou, 2023).

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la implementación de la herramienta PL4N3T en SPEC LNG para optimizar la gestión de la huella de carbono, mejorando la autogestión, el monitoreo y el reporte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y asegurando la efectividad de las estrategias de sostenibilidad alineadas con los compromisos climáticos de Colombia.

Objetivos específicos

1. Identificar las principales fuentes de emisiones de GEI en SPEC LNG mediante un diagnóstico detallado de los procesos operativos, con el fin de adaptar la herramienta PL4N3T para centrarse en los puntos críticos de generación de emisiones.
2. Configurar la herramienta PL4N3T para integrar factores de emisión y datos históricos de SPEC LNG, asegurando precisión en el monitoreo de las emisiones de GEI y facilitando el desarrollo de estrategias efectivas para reducir la huella de carbono.
3. Diseñar una estrategia de comunicación efectiva para divulgar los resultados de la gestión de GEI a los diferentes grupos de interés de SPEC LNG. Esta estrategia debe incluir la creación de informes claros y accesibles que promuevan la transparencia y fortalezcan el compromiso con la gestión de emisiones de GEI.

Marco teórico o marco conceptual

La relación entre crecimiento económico y emisiones de CO₂ es uno de los ejes centrales en la agenda global de cambio climático, cuya meta principal es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El crecimiento económico, históricamente vinculado al uso intensivo de combustibles fósiles, plantea un desafío crítico: cómo mantener el desarrollo económico sin comprometer la sostenibilidad ambiental. En este contexto, la descarbonización se ha convertido en un imperativo para que los países logren cumplir con los compromisos internacionales, como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París (Balza et al., 2024).

A nivel global, las emisiones de CO₂ han mostrado tendencias diferentes según la región. En las décadas recientes, Asia del Este y del Sur han experimentado un incremento significativo debido al crecimiento industrial y la producción intensiva en energía, mientras que regiones como América del Norte y Europa han reducido sus emisiones relativas gracias a la transición hacia economías basadas en servicios, la eficiencia energética y la diversificación de fuentes energéticas (IEA, 2022). Por otro lado, América Latina ha mantenido una participación estable en las emisiones globales (alrededor del 5%), pero con un crecimiento en términos absolutos, triplicando sus emisiones desde 1970 (World Bank, 2022).

La matriz energética de América Latina y el Caribe sigue dependiendo principalmente de combustibles fósiles, con el gas natural (34%) y el petróleo (31%) a la cabeza. Aunque el consumo de energías renovables ha crecido, los

hidrocarburos representan cerca del 80% del consumo energético regional, lo que resalta la urgencia de avanzar en la transición energética (Fundación Heinrich Böll Colombia, 2022).

América Latina y el Caribe (ALC) enfrentan un doble reto: fomentar el desarrollo económico inclusivo mientras se mitigan los impactos ambientales. Este desafío es particularmente evidente en países con alta dependencia de combustibles fósiles y sectores económicos intensivos en emisiones, como el agropecuario y el de uso de suelo. En Colombia, por ejemplo, el sector agropecuario y el cambio de uso del suelo representan aproximadamente el 50% de las emisiones nacionales de GEI (El Espectador, 2022).

Sin embargo, existen casos de éxito en la región que sirven de modelo, como los sistemas de monitoreo de emisiones implementados en Chile y Panamá, que demuestran cómo las políticas innovadoras y el uso de tecnologías avanzadas pueden fomentar la sostenibilidad sin frenar el crecimiento económico (PNUD, 2022).

Según datos de 2023, Colombia emite aproximadamente 279 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) al año. De este total, la industria del gas natural es responsable de 2,8 millones de toneladas, lo que representa alrededor del 1% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) (Naturgas, 2023).

En su compromiso con la lucha contra el cambio climático, las empresas del sector gasífero en Colombia han implementado diversas acciones para reducir y

compensar sus emisiones. Estas iniciativas incluyen la adopción de tecnologías avanzadas para disminuir fugas y venteos, el desarrollo de proyectos de gases renovables como biogás, biometano e hidrógeno, y la ejecución de programas de compensación de emisiones (Naturgas, 2023).

El gas natural, una fuente fósil con menor huella de carbono que otros combustibles, es considerado estratégico en la transición energética. Sin embargo, su ciclo de vida del GNL, que incluye extracción, licuefacción, transporte, regasificación y uso final, presenta desafíos significativos. Las etapas de licuefacción y transporte marítimo concentran gran parte de las emisiones de GEI, debido al uso intensivo de energía y fugas de metano (Howarth, 2023; Pambudi, 2023).

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta esencial para la estimación de la huella de carbono asociada a la cadena de suministro del GNL, que incluye la producción, transporte, regasificación y uso final del gas. Este enfoque permite identificar las fuentes principales de emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida del producto y evaluar el impacto de las diferentes etapas del proceso (Takam, 2023).

En la etapa de extracción, el metano, un GEI mucho más potente que el dióxido de carbono, se libera durante la ventilación y el venteo de pozos. La licuefacción del gas natural, un proceso intensivo en energía, también contribuye a las emisiones de CO₂ debido al uso de combustibles fósiles en las plantas de licuefacción. Según estudios recientes, esta etapa puede representar hasta un 15-25% de las emisiones totales de la cadena de suministro del GNL (Pambudi, 2023).

El transporte marítimo del GNL es otra fuente significativa de emisiones, principalmente debido a las fugas de metano durante el proceso de carga, descarga y el denominado “boil-off” durante el transporte. Estos escapes de metano pueden aumentar las emisiones totales de la cadena de suministro, compensando parcialmente los beneficios climáticos del uso de GNL en lugar de otros combustibles más contaminantes (Howarth, 2023).

Finalmente, la regasificación y el uso final del GNL también generan emisiones, aunque en menor medida comparado con las etapas anteriores. La evaluación del ciclo de vida del GNL revela que para reducir de manera efectiva las emisiones de GEI, es crucial mejorar la eficiencia en todas las etapas y adoptar tecnologías que minimicen las fugas de metano (National Energy Technology Laboratory, 2019).

La innovación tecnológica es un componente central para enfrentar los desafíos del cambio climático. En la gestión de emisiones de GEI, las transformaciones tecnológicas permiten descarbonizar sectores clave y optimizar el uso de recursos energéticos mediante herramientas avanzadas de modelado y análisis (Victoria et al., 2022). Estas tecnologías, cuando se integran en plataformas digitales, no solo facilitan el monitoreo y la cuantificación precisa de emisiones, sino que también generan datos confiables para la toma de decisiones estratégicas (Guzmán, 2023).

En Colombia, SPEC LNG enfrenta el reto de gestionar estas emisiones como parte de los compromisos establecidos en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), que busca reducir las emisiones en un 51% para 2030 (MinAmbiente, 2023).

En este sentido, herramientas como PL4N3T representan un ejemplo claro de cómo la tecnología puede transformar la gestión empresarial de emisiones. Al centralizar la información operativa y habilitar la planificación en tiempo real, estas plataformas fortalecen la capacidad de las empresas para cumplir con objetivos climáticos y mejorar su competitividad en mercados donde la sostenibilidad es cada vez más relevante.

Por lo tanto, el trabajo de grado que se está desarrollando tiene un aporte significativo a la academia y a la práctica profesional. Este enfoque se enmarca en el campo interdisciplinario de las ciencias ambientales, la transición energética y la sostenibilidad empresarial, ofreciendo una oportunidad para explorar soluciones innovadoras y estrategias que respondan a los desafíos del cambio climático en el sector energético.

Al estudiar el comportamiento de las emisiones en terminales de GNL, el trabajo proporcionará nuevas perspectivas sobre la dinámica de las emisiones de GEI en este tipo de infraestructura crítica. Estos datos permitirán comprender mejor las fuentes de emisión en las distintas etapas operativas y sentarán las bases para el diseño e implementación de estrategias más efectivas de mitigación. Este análisis se alinea con el campo de conocimiento que prioriza la cuantificación de emisiones y la integración de tecnologías para su reducción, áreas fundamentales en la lucha contra el cambio climático.

En términos académicos, este trabajo amplía el conocimiento existente sobre la cuantificación de la huella de carbono en el sector del GNL al explorar cómo terminales específicas, como SPEC LNG, pueden liderar la transición hacia una

gestión de emisiones más eficiente mediante la adopción de herramientas tecnológicas avanzadas. Al hacerlo, contribuye al desarrollo de un marco conceptual que conecta la sostenibilidad, la gestión de emisiones y la innovación tecnológica, fortaleciendo la comprensión de cómo las empresas pueden integrar la sostenibilidad en sus operaciones mientras cumplen con objetivos económicos y ambientales.

Diseño metodológico

Esta investigación utiliza un estudio de caso, metodología cualitativa que permite un análisis detallado y contextualizado de fenómenos complejos dentro de su entorno real (Yin, 2014). Este enfoque resulta útil para examinar la implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T en la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de la empresa Sociedad Portuaria El Cayao LNG (SPEC LNG).

El propósito del estudio es analizar cómo esta herramienta tecnológica mejora la precisión en el seguimiento de las emisiones, fomenta la transparencia en la divulgación de datos y optimiza la toma de decisiones estratégicas en el marco de la sostenibilidad corporativa. La selección de SPEC LNG, la primera terminal de importación, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL) en Colombia, responde a su papel crucial en la transición energética del país. Dada la naturaleza de sus procesos y su impacto significativo en las emisiones de GEI, la gestión eficiente de estas emisiones se convierte en una necesidad estratégica.

La recopilación de datos se basará en tres métodos complementarios, diseñados para captar información desde diferentes ángulos y garantizar la triangulación de los hallazgos. El primer método consiste en entrevistas en profundidad, utilizando un enfoque semiestructurado que permita explorar las experiencias, percepciones y desafíos asociados con la implementación de PL4N3T. Al momento de la aplicación de las entrevistas, se solicitó a cada una de las personas participantes firmar el consentimiento informado, con el fin de garantizar el respeto de sus

derechos, asegurar la voluntariedad de su participación y dar cumplimiento a los principios éticos de confidencialidad, transparencia y protección de la información recopilada (Ver anexo A). Este tipo de entrevistas, guiadas por un protocolo flexible, ofrece la posibilidad de ajustar las preguntas según las respuestas de los participantes, lo que resulta esencial al trabajar con informantes élite que suelen tener expectativas elevadas sobre el conocimiento y preparación del investigador (Myers & Newman, 2007).

El diseño de la investigación incluye a diversos informantes dentro de SPEC LNG, quienes han sido seleccionados por su relevancia en los procesos clave de la empresa. Los participantes se clasifican en dos categorías: informantes élite y no élite (Solarino & Aguinis, 2020).

Los informantes élite están representados por directivos y responsables de sostenibilidad, quienes ocupan posiciones estratégicas dentro de la organización y poseen conocimiento exclusivo sobre las decisiones y políticas que definen el cumplimiento de objetivos ambientales. Por otro lado, los informantes no élite, como el personal técnico y de operaciones, ofrecen una perspectiva práctica y operativa, que resulta crucial para comprender cómo la herramienta se integra en las actividades diarias. Esta combinación de perspectivas permite una evaluación más rica y crítica, abordando tanto los aspectos estratégicos como los operativos de la implementación de PL4N3T. Además, al integrar las perspectivas de ambos grupos, se logra una comprensión más profunda y equilibrada de los efectos de la herramienta en la organización (Solarino & Aguinis, 2020). En la Tabla 1 se relacionan los cargos y procesos de las personas que serán entrevistadas.

Entrevistado	Tipo de cargo	Duración entrevista	Fecha entrevista
Coordinador de Operaciones	Elite	45 minutos	11/26/2024
Coordinador de Operaciones Marinas	Elite	45 minutos	11/26/2024
Coordinador de Mantenimiento	Elite	45 minutos	11/26/2024
Coordinador de Comunidades, Comunicaciones y Ambiente	Elite	45 minutos	11/28/2024
Profesional de Operaciones	No Elite	35 minutos	11/28/2024
Profesional del Centro de Control	No Elite	35 minutos	11/28/2024
Profesional de Seguridad Física	No Elite	35 minutos	11/29/2024
Profesional de Servicios Generales	No Elite	35 minutos	11/29/2024
Profesional de Abastecimiento	No Elite	25 minutos	11/29/2024
Profesional de SST	No Elite	25 minutos	11/29/2024

Tabla 1. Relación de informante y cargos a entrevistar

El segundo método será la observación directa de los procesos operativos, documentando cómo se integra la herramienta en las actividades diarias de SPEC LNG. Este enfoque permitirá identificar áreas de mejora en la implementación y usabilidad de PL4N3T, así como evaluar su impacto en la gestión en tiempo real de los datos de emisiones (Merriam, 1998).

Finalmente, se realizará un análisis documental exhaustivo, revisando informes corporativos como reportes de sostenibilidad, registros históricos de emisiones y otros documentos relevantes. Este análisis permitirá comparar datos previos y posteriores a la implementación de la herramienta, evaluando cambios en precisión, trazabilidad y calidad de los datos (Bowen, 2009). En la Tabla 2 se relaciona el

listado de fuentes secundarias de información que serán tenidas en cuenta en la investigación.

Fuentes de información Secundaria	Años de registro
Informes de Sostenibilidad	2021, 2022 y 2023
Informes de proceso	2021, 2022 y 2023
Inventario de emisiones de CO ₂	2021, 2022 y 2023
Informes de resultado de emisiones de CO ₂	2021, 2022 y 2023
Página Web – SPEC LNG	

Tabla 2. Fuentes secundarias de información

El análisis de los datos seguirá un enfoque cualitativo riguroso, empleando estrategias como la codificación temática y el análisis comparativo. La codificación temática, basada en el modelo de Braun y Clarke (2006), permitirá identificar patrones y tendencias en las entrevistas, tales como la percepción de beneficios, desafíos y oportunidades relacionadas con PL4N3T. Por su parte, el análisis comparativo evaluará los cambios en los datos de emisiones antes y después de la implementación de la herramienta, permitiendo medir mejoras en la calidad de los datos y su influencia en la toma de decisiones estratégicas (Yin, 2014). Véase Anexo B.

Además, los hallazgos derivados de la observación directa serán analizados para identificar oportunidades de mejora en el uso cotidiano de la herramienta, con un enfoque en cómo estas dinámicas afectan las decisiones operativas y la comunicación interna dentro de la empresa (Merriam, 1998). Todo el análisis estará respaldado por una triangulación de datos que combine las entrevistas, las observaciones y el análisis documental, siguiendo las recomendaciones de Denzin (2012).

Consideraciones éticas

El consentimiento informado fue obtenido de manera clara y transparente de todos los participantes involucrados en el proceso de implementación del software PL4N3T para la cuantificación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la empresa SPEC LNG, quienes fueron entrevistados. Antes de iniciar cualquier actividad, se les proporcionó a los participantes una explicación detallada sobre los objetivos del proyecto de grado, los procedimientos que se llevarían a cabo, así como los posibles riesgos y beneficios de la implementación del software.

Se explicó que el propósito principal era mejorar la eficiencia en el cálculo de los GEI, haciéndolo más rápido, seguro y práctico. Los participantes fueron informados de que su participación era voluntaria y que podían retirar su consentimiento en cualquier momento sin repercusiones. Asimismo, se les garantizó la confidencialidad de la información obtenida y se les proporcionó tiempo suficiente para resolver cualquier duda o inquietud antes de firmar su consentimiento.

Confidencialidad y anonimato

Se garantiza que todos los datos obtenidos durante el desarrollo de este proyecto serán manejados con estricta confidencialidad. La información recopilada sobre la empresa SPEC LNG, así como los datos relacionados con las emisiones de GEI, el uso de la herramienta PL4N3T, y cualquier otro dato sensible, será utilizada únicamente con fines académicos y de investigación. Los resultados y análisis derivados de estos datos no serán divulgados a terceros sin el consentimiento

expreso de los responsables de la empresa, salvo que se cumpla con lo estipulado por la normativa legal vigente.

Todos los documentos, informes y archivos electrónicos relacionados con el proyecto estarán protegidos por contraseñas y almacenados de manera segura. Además, cualquier acceso a estos datos estará restringido al equipo de investigación, quienes estarán sujetos a la obligación de mantener la confidencialidad de la información.

En el caso de entrevistas realizadas a empleados de SPEC LNG u otras partes interesadas, se asegurará el anonimato de los participantes. Los datos recopilados no estarán vinculados a información personal identificable, y no se utilizarán nombres o cualquier otro dato que permita asociar las respuestas a personas específicas.

Conflicto de intereses

Para este estudio, no existen relaciones financieras directas ni vínculos comerciales entre los estudiantes y la empresa SPEC LNG que pudieran influir de manera significativa en el desarrollo o los resultados del proyecto. Asimismo, los estudiantes no reciben compensación económica, incentivos ni beneficios derivados de la implementación de la herramienta PL4N3T ni de los procesos de gestión de emisiones de GEI realizados por la empresa.

Sin embargo, se reconoce que la colaboración con SPEC LNG en este caso de estudio podría generar la percepción de un posible conflicto de interés, dado que

los resultados del proyecto podrían influir en la evaluación de la herramienta PL4N3T por parte de la empresa o en su adopción a gran escala. Para mitigar cualquier posible sesgo, por esto aseguramos que la metodología, los análisis de datos y las conclusiones del estudio se mantendrán rigurosamente neutrales e imparciales.

Tratamiento ético de los datos

En este trabajo de grado, los datos recopilados se manejarán bajo estándares de privacidad y seguridad para garantizar la confidencialidad de la información proporcionada por SPEC LNG y Quiripa S.AS. Para ello, se implementarán las siguientes medidas:

- Los datos primarios obtenidos en SPEC LNG a través de entrevistas, observaciones o sistemas internos de la empresa serán almacenados en plataformas seguras (One Drive de las cuentas educativas suministradas por EAFIT) y protegidas mediante contraseñas. Se asegurará que el acceso a la información esté limitado al equipo de trabajo directamente relacionado con la investigación.
- Cuando se utilicen datos sensibles, estos serán anonimizados en los informes y presentaciones, eliminando cualquier información que permita identificar a personas o procesos específicos.
- Al concluir el trabajo de grado, todos los datos proporcionados por SPEC LNG y Quiripa S.AS serán devueltos a la empresa o eliminados de manera segura.

Manipulación y sesgo

El compromiso con la precisión y objetividad es fundamental para la integridad del trabajo. Para abordar este punto. Se emplearán estándares internacionales reconocidos para el cálculo de la huella de carbono, como el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) y la ISO 14064-1. Esto asegura que los resultados sean consistentes y comparables a los de otras organizaciones.

No se ajustarán ni excluirán datos con el fin de obtener resultados favorables. Cada dato será analizado y contextualizado dentro del marco de la investigación, y cualquier anomalía será documentada y explicada en los reportes finales.

Se incluirá en el trabajo una descripción detallada de la metodología implementada, así como las limitaciones de los datos y el análisis. Además, cualquier interpretación será respaldada por evidencia, evitando conclusiones subjetivas o influenciadas por intereses particulares.

Cumplimiento de regulaciones y directrices

El desarrollo del trabajo cumplirá con las regulaciones éticas aplicables a nivel profesional, corporativo y académico:

- Normas éticas corporativas de SPEC LNG y QUIRIPA S.AS

Se garantizará que las actividades de consultoría respeten las políticas internas de confidencialidad, integridad y sostenibilidad de SPEC LNG y QUIRIPA S.AS. Esto incluye firmar acuerdos de confidencialidad, de ser necesario, y adherirse a los principios de ética empresarial promovidos por la compañía.

- Códigos de conducta profesional

Como profesionales y estudiantes, se seguirá las directrices de la Universidad para la realización de trabajos de grado. Esto incluye la obligación de actuar con honestidad, responsabilidad y respeto por las partes interesadas.

- Normas de investigación académica

Se atenderán las directrices éticas emitidas por la universidad para proyectos de investigación, que exigen transparencia, rigor metodológico y respeto por los participantes. En este sentido, se obtendrá el consentimiento informado de los entrevistados, explicándoles el propósito del trabajo, cómo se usarán sus respuestas y el derecho a retractarse en cualquier momento sin consecuencias.

Hallazgos y resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la información presentada proveniente de tres fuentes principales: entrevistas semiestructuradas realizadas a un grupo diverso de informantes clave de la organización, observaciones directas de los procesos operativos y un exhaustivo análisis documental de reportes históricos y registros de emisiones.

Resultados de las entrevistas en SPEC LNG

El análisis general de las entrevistas realizadas al personal de SPEC LNG, tanto a coordinadores de áreas (operaciones, mantenimiento, operaciones marítimas, comunidades, comunicaciones y ambiente) como a profesionales (protección física, servicios generales, abastecimiento, operaciones y Seguridad y Salud en el Trabajo), reveló importantes hallazgos. Se identificaron patrones y tendencias que evidencian un alto compromiso por adoptar innovaciones tecnológicas, a la vez que se señalaron desafíos en la integración de datos y en la comunicación interna.

El análisis general de las entrevistas realizadas al personal de SPEC LNG evidencia lo siguiente:

En el área operacional:

- Se destaca la operación segura y eficiente del terminal, asegurando la entrega de gas natural según los requerimientos del cliente.
- Equipos clave: gasoductos (internos y de conexión), generadores, bombas del sistema contraincendios y sistemas de venteo.

Área Marítima:

- Actividades como la supervisión de transferencias de GNL entre buque y FSRU, coordinación en la interfaz buque-puerto y verificación del cumplimiento normativo en seguridad marítima y ambiental.
- Tecnologías utilizadas: brazos de carga, mangueras criogénicas, sistemas de control de flujo, radares y dispositivos de navegación.

Áreas de Sostenibilidad, Mantenimiento, Compras y SST:

Cada área utiliza equipos y herramientas específicas (por ejemplo, Excel y SAP para reportes, herramientas manuales y eléctricas en mantenimiento, y cámaras o sistemas de vigilancia en seguridad física).

Estas áreas, aunque no generan procesos críticos de emisiones directamente, contribuyen al conjunto de datos que alimenta la gestión ambiental.

Procesos Críticos y Monitoreo**Procesos Críticos:**

Los venteos de gas natural, especialmente durante mantenimientos o en condiciones anormales de operación, se identificaron como críticos, debido a la liberación de metano, un GEI de alto potencial de calentamiento.

En la línea marítima, el uso intensivo de combustibles fósiles y la generación de vapor en los tanques también se consideran puntos críticos.

Monitoreo y Reporte Actual:

El seguimiento se realiza mediante informes mensuales, con datos recopilados de medidores de flujo, sensores y cálculos operativos.

La consolidación y reporte de datos se efectúa, en gran parte, de forma manual a través de herramientas como Excel, lo que genera desafíos en términos de automatización e integración.

Calidad de Datos y Desafíos

Los datos son obtenidos a través de equipos de medición y reportes operativos, pero la evaluación de su calidad es limitada al depender de registros manuales y de terceros.

El análisis de las entrevistas resalta que, aunque SPEC LNG cuenta con procesos establecidos para el monitoreo y reporte de emisiones, existen importantes oportunidades de mejora en la integración y automatización de datos. La implementación de la herramienta PL4N3T se vislumbra como una solución capaz de fortalecer la precisión del inventario de emisiones, optimizar la toma de decisiones y posicionar a la empresa a la vanguardia en la gestión ambiental.

Identificación de fuentes y Datos de emisiones GEI

Categoría 1. Emisiones Directas (Alcance 1 en el GHG Protocol)

Las emisiones directas (Categoría 1 de acuerdo con los lineamientos de la 14064-1:2020 o de Alcance 1 de acuerdo con el GHG Protocol), corresponden a las

emisiones directamente generadas por la organización dentro de los límites operacionales.

Identificación de fuentes Directas

En la Tabla 3 se identifican las fuentes móviles, fijas y de proceso de la organización que generan emisiones directas de GEI, de acuerdo con la información obtenida de entrevistas, observaciones de los procesos y análisis documental.

FUENTE	DATOS DE ACTIVIDAD	GEI GENERADO
Vehículos propiedad de la organización	Consumo de Diésel	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Consumo de Biodiésel	CH ₄ y N ₂ O
	Consumo de Gasolina	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Consumo de Bioetanol	CH ₄ y N ₂ O
	Gas refrigerante HFC-134A / R-134A	Compuestos fluorados
	Gas refrigerante HFC-1234yf / R-1234yf	Compuestos fluorados
	Lubricantes	CO ₂
Plantas eléctricas y otros equipos considerados fuentes fijas	Consumo de Diésel	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Consumo de Biodiésel	CH ₄ y N ₂ O
	Gas Natural (SPEC)	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Gas Patrón Laboratorio (SPEC)	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Lubricantes y grasas	CO ₂
Aires acondicionados	HFC-410a / R-410A	Compuestos fluorados
Extintores	Extintores CO ₂	CO ₂
Transporte Gas Natural	Fugas de Gas Natural	CO ₂ y CH ₄

Tabla 3. Identificación de fuentes directas

Resultados de las emisiones directas

Luego de la identificación y recolección de información, asociadas a las fuentes de SPEC LNG se obtuvo los resultados relacionados en la Tabla 4. La información fue obtenida de entrevistas, observaciones de los procesos y análisis documental y se obtuvo los siguientes resultados:

Fuente de emisión GEI	Datos de consumo	Unidad	Cantidad 2021	Huella de Carbono 2021 (t CO2e)	Cantidad 2022	Huella de Carbono 2022 (t CO2e)	Cantidad 2023	Huella de Carbono 2023 (t CO2e)
Fuentes Mviles	Diésel	Gal	2.601,79	26,43	2.961,53	30,09	3.570,34	36,28
	Biodiésel	Gal	289,09	0,00	329,06	0,00	396,70	0,00
	Gasolina	Gal	2.302,52	20,32	2.601,04	22,95	2.301,47	20,31
	Bioetanol	Gal	255,84	0,01	166,02	0,01	140,42	0,01
	Lubricantes	Gal	339,80	0,53	0	0	22,00	0,04
	Grasas	kg	102,00	0,06	0	0	0	0
	R-134A	kg	1,09	1,66	1,81	2,76	0,84	1,29
	R-123yf	kg	0	0	0	0	0,12	0,0001
Fuentes Fijas	Diésel	Gal	500,08	5,08	489,10	4,96	1.827,41	18,55
	Biodiésel	Gal	55,56	0,00011	54,34	0,00012	203,05	0,0004
	Gas Natural	Gal	201.729,50	503,20	199.488,30	505,46	201.667,28	504,90
	Gas Patrón Laboratorio (SPEC)	m3	0	0	0	0	3,82	0,01
	Grasas	Kg	102,00	0,06	64,00	0,04	11,00	0,01
	Lubricantes	Gal	339,80	0,53	447,50	0,80	427,70	0,76
	Aires Acond.	R-410A	Kg	24,00	53,65	3,00	6,71	4,00
R-22		Kg	8,00	15,68	0	0	0	0
Extintores	CO ₂	Kg	272,73	0,27	272,72	0,27	272,73	0,27
Transporte de Gas natural	Fugas de gas natural	tCH ₄ Fugado	0,95	26,48	1,80	50,22	5,49	163,62
SUBTOTAL EMISIONES DIRECTAS				653,45		624,28		755,06

Tabla 4. Emisiones directas 2021-2023.

Fuente SPEC LNG, 2021-2023

Categoría 2. Emisiones Indirectas por uso de energía (Alcance 2 en el GHG Protocol)

Las emisiones indirectas por uso de energía (Categoría 2 de acuerdo con los lineamientos de la NTC-ISO 14064-1:2020 o de Alcance 2 de acuerdo con el GHG Protocol), corresponden a las emisiones asociadas a la producción por terceros de la energía eléctrica consumida por la organización dentro de los límites de la organización.

FUENTE	CARGA AMBIENTAL	GEI GENERADO
Equipos de cómputo	Energía eléctrica adquirida	CO ₂
Equipos de oficina		
Sistemas de iluminación		
Otros equipos eléctricos		

Tabla 5. Equipos asociados al consumo de energía eléctrica.

Fuente: SPEC LNG, 2023

Resultados de las emisiones por uso de energía

La información relacionada a continuación fue obtenida de entrevistas, observaciones de los procesos y análisis documental y se obtuvo los siguientes resultados:

Consumo	Unidad	Cantidad	Huella de	Cantidad	Huella de	Cantidad	Huella de
		2021	Carbono	2022	Carbono	2023	Carbono
			(t CO ₂ e)		(t CO ₂ e)		(t CO ₂ e)
Consumo de energía eléctrica	kWh	33.382	4,21	34.625	3,89	34.625	3,89

Tabla 6. Emisiones por uso de energía 2021-2023.

Fuente: SPEC LNG, 2021-2023

Categoría 4. Emisiones Indirectas por productos y servicios usados por la organización (Parte del Alcance 3 en el GHG Protocol)

Las emisiones indirectas por productos usados por la organización (Categoría 4 de acuerdo con los lineamientos de la NTC-ISO 14064-1:2020) están clasificadas como parte del Alcance 3 en el GHG Protocol), y corresponden a las emisiones generadas por terceros (fuera de los límites organizacionales) para producir los productos e insumos de la organización o para prestarle servicios diferentes a los de transporte.

Categoría	Datos de Actividad	GEI Generado
Emisiones por bienes adquiridos	Lubricante	CO ₂
	Elementos seguridad industrial	CO ₂
	Repuestos maquinaria y equipo	CO ₂
	Material Eléctrico	CO ₂
Emisiones por Bienes de Capital	Software	CO ₂
	Equipos control proceso	CO ₂
	Compresor	CO ₂
	Herramientas	CO ₂
Emisiones por disposición de bienes adquiridos	Residuos sólidos a relleno sanitario anaeróbico	CH ₄
Otros servicios usados	Diésel o ACPM (sin mezcla biodiesel). Fijo.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
	Biodiesel palma. Fijo.	CH ₄ y N ₂ O
	Gas Natural Líquido (SPEC 2023)	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O

Tabla 7. Fuentes indirectas de productos y servicios usados por la organización.

Fuente: SPEC LNG, 2023

Resultados

La información relacionada a continuación fue obtenida de entrevistas, observaciones de los procesos y análisis documental y se obtuvo los siguientes resultados:

Categoría de Emisiones de GEI	Datos de Consumo	Unidad	Cantidad 2021	Huella de Carbono 2021 (t CO2e)	Cantidad 2022	Huella de Carbono 2022 (t CO2e)	Cantidad 2023	Huella de Carbono 2023 (t CO2e)
Bienes Adquiridos	Lubricante	USD	82.741,68	110,87	7.699,49	10,32	165.531,57	140,37
	Elementos seguridad industrial	USD	60.433,61	76,75	19.480,31	24,74	23.815,51	5,24
	Repuestos maquinaria y equipo	USD	87.105,41	136,76	96.413,25	80,02	19.330,10	3,40
	Material Eléctrico	USD	34.452,53	28,25	21.017,72	17,23	98.044,80	17,26
	Medidores Gas Natural	USD	20.717,09	16,99	0,00	0,00	0	0
	Tubería Acero	USD	12.412,29	19,49	0,00	0,00	0	0
	Válvulas	USD	7.723,77	12,13	1.755,76	2,76	0	0
	Filtros	USD	7.539,54	8,37	6.240,95	6,93	0	0
	Recubrimiento de tubería	USD	6.251,52	8,38	7.343,78	9,84	0	0
	Dotación	USD	5.222,79	6,63	399,11	0,51	0	0
Bienes de Capital	Software	USD	52.941,77	39,71	15.694,32	11,77	34.470,78	3,34
	Equipos control proceso	USD	10.602,75	8,80	4.750,74	3,94	59.605,11	6,85
	Compresor	USD	10.354,69	8,59	4.150,59	3,44	36.037,53	7,86
	Herramientas	USD	9.858,38	8,18	3.593,30	2,98	43.424,41	10,42
	Equipos de comunicaciones	USD	6.848,51	5,68	310,19	0,26	0	0
Desechos sólidos	Residuos sólidos a relleno sanitario anaeróbico	kg húmedo	35.852,00	52,79	32.095,00	47,09	31.288,00	44,43
Otros servicios usados	Diésel o ACPM (sin mezcla biodiesel)	gal	662.147,27	6.721,37	22.881,88	232,27	42.391,67	430,32
	Biodiesel palma	gal	73.571,92	0,16	2.542,43	0,01	4.710,19	0,01
	Gas natural liquido FSRU	m ³	6.175.268,20	15.403,88	5.930.565,5	15.026,69	9.757.858,13	24.429,91
	Gas natural liquido GCU	m ³	30.771.169,38	76.757,07	31.077.023,09	78.742,02	23.908.563,76	59.857,82
SUBTOTAL EMISIONES INDIRECTAS POR USO DE PRODUCTOS				99.430,85		94.222,82		84.957,22

Tabla 8. Emisiones indirectas productos y servicios usados por la organización.

Fuente: SPEC LNG, 2021-2023

Emisiones totales a través del tiempo

La variación en las emisiones totales (categorías 1 a 6 de la NTC-ISO 14064-1:2020 y alcances 1,2 y 3 del GHG Protocol) del año 2023 con respecto al año base 2021 es de -8,749 %, lo cual quiere decir que la organización ha disminuido el valor absoluto de sus emisiones en -8.219 t CO₂e/año, lo anterior, debido principalmente a la gestión de la organización en cuanto a sus fuentes de emisión.

Fuente	2021 (Ton CO ₂ e/año)	2022 (Ton CO ₂ e/año)	2023 (Ton CO ₂ e/año)
Emisiones Directas	653,45	626,44	755,06
Emisiones Indirectas por energía	4,21	3,89	6,76
Otras emisiones indirectas	99.430,85	94.222,82	84.957,22
Total	100.088,50	94.853,14	85.719,05

Tabla 9. Emisiones directas discriminadas por GEI.

Fuente: SPEC LNG, 2023

En la figura No. 2 se presenta un resumen y la evolución de la huella de carbono de SPEC LNG.

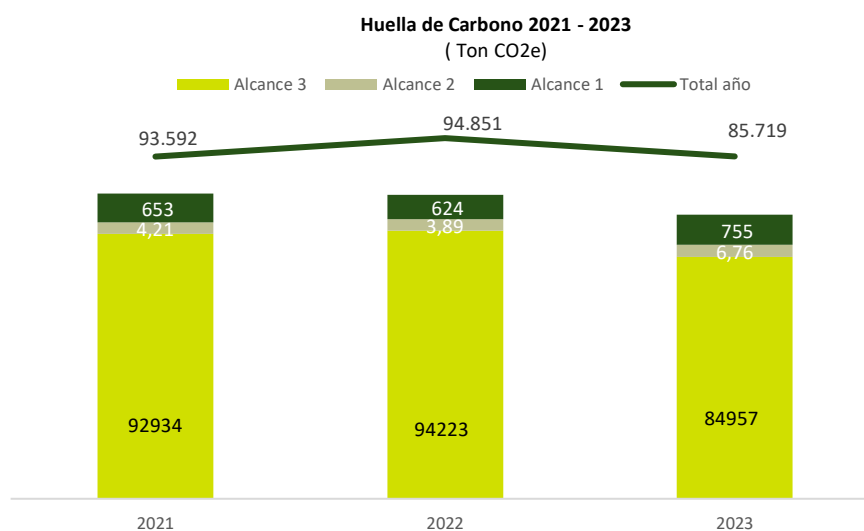


Figura 2. Huella de Carbono 2021-2023. Fuente SPEC LNG

A nivel de las emisiones directas se presenta un aumento de emisiones de 101,61 t CO_{2e} con respecto al año base. En cuanto a las emisiones indirectas por energía se tiene un aumento de emisiones de 2,55 t CO_{2e} y en otras emisiones indirectas se tiene una disminución en las emisiones de -14.473,63 t CO_{2e}.

Parametrización de PL4N3T con datos históricos y factores de emisión





















La implementación de la herramienta PL4N3T en SPEC LNG permitió optimizar la gestión de las emisiones de GEI mediante la parametrización de fuentes y factores de emisión, adaptados a las particularidades operativas de la empresa. Este proceso fue fundamental para garantizar la precisión en la cuantificación de la huella de carbono, así como para mejorar la trazabilidad y accesibilidad de los datos.

Uno de los aspectos más relevantes en la parametrización fue la necesidad de capturar la complejidad de las operaciones de SPEC LNG, incluyendo fuentes de emisión variables en función de factores operativos como la demanda de regasificación, el mantenimiento de equipos y la eficiencia energética.

En este contexto, uno de los primeros pasos en la parametrización fue la identificación y configuración de fuentes de emisión, lo que permitió estructurar la información dentro de la plataforma de acuerdo con las necesidades específicas de la empresa. Como parte de este proceso, se creó la fuente de emisión "Minería e Hidrocarburos", correspondiente a las emisiones fugitivas de la Categoría 1, generadas por la fuga de gas natural durante el transporte y distribución.

Fuentes de Emisión

Selecciona aquí las fuentes de emisión que gestionarás con tu empresa

				
Grasas Lubricantes	Consumo de Combustibles...	Consumo de Combustibles...	Consumo de Combustibles...	Fuga de Refrigerantes
				
Bienes adquiridos	Grasas Lubricante	Minería e Hidrocarburos	Consumo combustibles Fija	Aceites lubricantes
				
Consumo de combustibles...	Extintores	Tratamiento de aguas residuales	Consumo combustibles...	Consumo de Electricidad
				
Refrigerantes	Residuos Generados	Viajes de Negocios...	Viajes de Negocios Aéreos	Consumo de Gas Natural Fijo

Guardar

Figura 3. Selección de emisiones a gestionar

En el caso de las emisiones derivadas de otros servicios utilizados, clasificadas dentro de la Categoría 4 según la ISO 14064-1, se evidenció la necesidad de incorporar un factor de emisión específico para el Gas Natural Licuado (GNL) propio de SPEC LNG (Ver Figura 3). Este factor se origina en la Unidad Flotante de Almacenamiento y Regasificación (FSRU) y está asociado a dos procesos clave: el consumo de gas natural en los generadores eléctricos de la FSRU, que representa un uso activo dentro de la operación, y el Boil-Off Gas (BOG) dirigido a la Unidad

de Combustión de Gas (GCU), utilizado exclusivamente para el manejo de presiones en el sistema sin un aprovechamiento productivo.

Fecha inicial	Fecha final	Fuente	Valor	Incertidumbre	Gas
2006-01-01	2030-12-31	SPEC,2023	2.494	0.013	CO ₂ 
Fecha inicial	Fecha final	Fuente	Valor	Incertidumbre	Gas
2006-01-01	2030-12-31	SPEC,2023	0.00012	0.03	CH ₄ 
Fecha inicial	Fecha final	Fuente	Valor	Incertidumbre	Gas
2006-01-01	2030-12-31	SPEC,2023	0.00002	0.03	N ₂ O 

Figura 4. Adaptación factures de emisión

Durante la parametrización, se llevó a cabo un proceso de validación y ajuste de los factores de emisión integrados en PL4N3T, contrastándolos con los datos históricos de SPEC LNG. La comparación con reportes previos permitió identificar similitudes y discrepancias en la cuantificación de la huella de carbono, lo que evidenció la necesidad de ajustar ciertos valores para mejorar la precisión de los cálculos.

Al actuar como punto central de gestión ambiental, PL4N3T permite que todas las áreas involucradas en la operación contribuyan con datos consistentes, mejorando la coordinación interna y la calidad de los reportes generados.

La plataforma, al estar alineada con las normativas internacionales como el GHG Protocol e ISO 14064-1, permite la comparabilidad de los resultados con periodos previamente cuantificados y verificados por un ente externo.

Al ser una plataforma basada en la nube, PL4N3T permite la visualización de los resultados de la huella de carbono en tiempo real (ver Figura 5). Sin embargo, uno de los principales desafíos identificados en su implementación está relacionado con la visualización de resultados en el dashboard y la estructuración de reportes técnicos para la toma de decisiones estratégicas. Aunque la plataforma ofrece la exportación de datos en diversos formatos, se han identificado oportunidades de mejora en la presentación y el análisis de la información, con el objetivo de que los reportes generados sean más detallados y estén mejor alineados con los requisitos de auditoría y certificación.

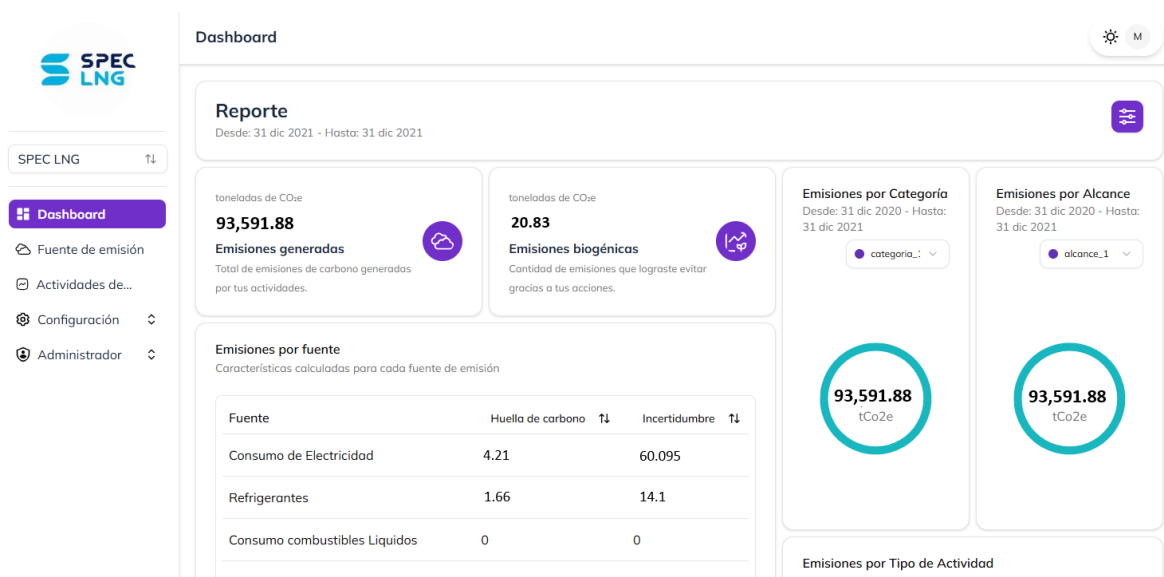


Figura 5. Dashboard PL4N3T

Actualmente, la visualización de los datos podría optimizarse para facilitar su interpretación y análisis, asegurando que los resultados sean más accesibles, intuitivos y comprensibles para los usuarios, en especial para aquellos responsables de la toma de decisiones dentro de SPEC LNG. Dado que el objetivo de la

plataforma no solo debe servir como un sistema de registro, sino como una herramienta estratégica, la representación visual de los datos debe permitir la identificación rápida de tendencias y la detección de desviaciones en el desempeño ambiental de la empresa.

La incorporación de indicadores clave de rendimiento (KPIs) y análisis comparativos facilitaría la interpretación de la información y permitiría tomar decisiones más informadas en la gestión de emisiones.

Discusión

La evaluación realizada a través de entrevistas e información secundaria permite abordar los objetivos específicos planteados, indicando las fortalezas y oportunidades para mejorar la gestión de las emisiones de GEI en SPEC LNG. A continuación, se desarrolla la discusión de los resultados para cada uno de los objetivos específicos.

Objetivo específico 1. Identificación de las principales fuentes de emisión

El diagnóstico detallado ha permitido identificar que las principales fuentes de emisiones de GEI en SPEC LNG están asociadas al consumo de gas natural (GN), los venteos de gas natural y el uso de combustibles en fuentes móviles. Estas fuentes combinadas representan una porción significativa de las emisiones directas e indirectas de la organización.

El consumo de GN, particularmente en los generadores, genera más de 500 tCO₂e anuales en promedio, lo que lo posiciona como la principal fuente de emisiones

directas. En la FSRU, las quemas de vapor de gas en la Unidad de Combustión de Gas (GCU) representan más del 80% de las emisiones indirectas, superando las 70,000 tCO₂e anuales. Este hallazgo subraya la necesidad de priorizar la reducción de estas emisiones mediante la optimización de los procesos de regasificación, especialmente en escenarios con tasas inferiores a 80 MMPCD.

Por otro lado, las fugas de gas natural, aunque representan eventos puntuales, tienen un impacto significativo debido al alto potencial de calentamiento global del metano (CH₄). En 2023, estas fugas incrementaron un 226% respecto a años anteriores, alcanzando 163.62 tCO₂e. Adicionalmente, los refrigerantes fluorados utilizados, aunque en bajas cantidades, generan emisiones a considerar debido a su alto potencial de calentamiento global.

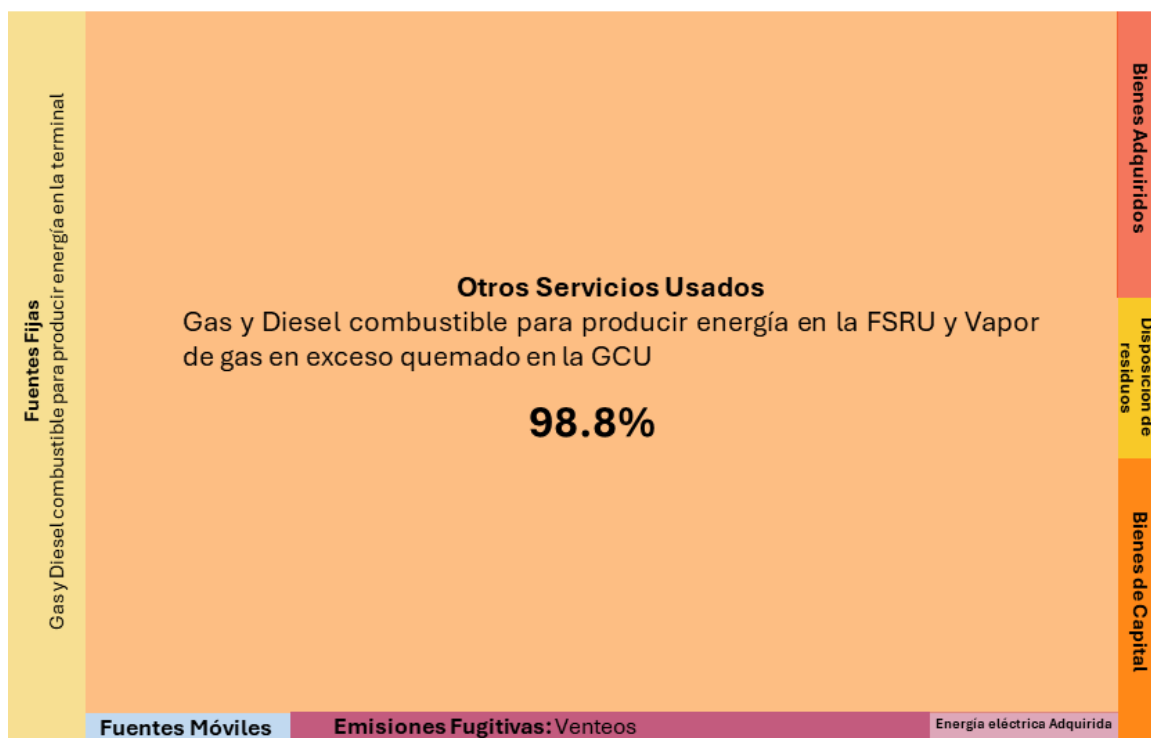


Figura 6. Fuentes de emisión y su nivel de importancia.

Fuente: Elaboración equipo investigador

Objetivo específico 2: Configuración de PL4N3T con datos históricos y factores de emisión

La implementación de PL4N3T en SPEC LNG ha demostrado ser una estrategia clave para optimizar la gestión de emisiones de GEI. Desde una perspectiva técnica, la necesidad de adaptar la plataforma a la complejidad operativa de SPEC LNG resalta la importancia de contar con sistemas de gestión ambiental flexibles y dinámicos.

Uno de los hallazgos más relevantes es que PL4N3T ha permitido una mayor integración entre las distintas áreas operativas de SPEC LNG, consolidando los datos de emisión en una única plataforma. Esto representa un avance significativo en la coordinación interna y la calidad de los reportes, ya que elimina la fragmentación de información y minimiza las inconsistencias en la medición de emisiones. Desde un enfoque organizacional, PL4N3T fortalece la trazabilidad y facilita el cumplimiento de normativas internacionales, como el GHG Protocol y la ISO 14064-1, garantizando la comparabilidad de los resultados y simplificando auditorías externas.

No obstante, la implementación de la plataforma ha evidenciado ciertos desafíos en la visualización de resultados y la estructuración de reportes técnicos. La forma en que estos se presentan actualmente los resultados no facilita su interpretación rápida por parte de los tomadores de decisiones. Esto subraya la necesidad de

mejorar las herramientas de visualización, incorporando dashboards interactivos que permitan identificar tendencias y anomalías de manera intuitiva.

Uno de los principales retos identificados es la optimización de la representación gráfica de los resultados en la plataforma. Aunque PL4N3T ha mejorado la recopilación y consolidación de información, la falta de una visualización adecuada dificulta la interpretación de los datos por parte de los responsables de la toma de decisiones. Investigaciones previas en gestión ambiental han demostrado que los sistemas de monitoreo más efectivos combinan una recopilación precisa de datos con herramientas de visualización intuitivas, lo que permite una mejor comprensión de la información y una respuesta más ágil ante desviaciones en los indicadores ambientales.

En este sentido, la ausencia de indicadores clave de rendimiento (KPIs) visuales y análisis comparativos en PL4N3T limita la capacidad de detectar variaciones en las emisiones y patrones de comportamiento. Desde una perspectiva práctica, la incorporación de KPIs personalizados permitiría a SPEC LNG comparar sus resultados históricos y evaluar en tiempo real el impacto de las estrategias de reducción de emisiones. Además, una representación más clara y accesible de la información mejoraría la comunicación de los resultados a diferentes grupos de interés, incluyendo reguladores, clientes y comunidades locales, fortaleciendo la transparencia y el posicionamiento de SPEC LNG como una empresa comprometida con la sostenibilidad.

Objetivo específico 3: Estrategia de comunicación para divulgar resultados

La evaluación realizada en SPEC LNG evidencia que la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) enfrenta desafíos importantes en términos de automatización, centralización y consistencia de los reportes. Estos factores limitan la capacidad de la organización para comunicar de manera efectiva los resultados de su gestión a los diferentes grupos de interés.

Actualmente, los informes están enfocados principalmente en la gerencia y carecen de formatos accesibles y comprensibles para otros públicos internos y externos. Además, elementos como el análisis de tendencias, las comparaciones entre áreas operativas y los progresos en la mitigación de emisiones no siempre están integrados en los reportes actuales, lo que reduce su impacto estratégico y comunicativo.

El diseño de una estrategia de comunicación efectiva debe abordar estas limitaciones, garantizando que los reportes reflejen de manera clara y transparente los resultados de la gestión de GEI. Un primer paso es la generación de informes dinámicos que incluyan gráficos, tablas y visualizaciones interactivas, adaptadas a las necesidades de cada grupo de interés. Para la gerencia, los reportes deben centrarse en resúmenes ejecutivos con métricas clave y recomendaciones estratégicas; para las comunidades vecinas, deben destacar los impactos ambientales locales y los avances en sostenibilidad; y para reguladores y auditores externos, se requiere un análisis más detallado de tendencias y cumplimiento normativo.

Es fundamental que los informes incluyan indicadores clave como la huella de carbono por actividad, la intensidad de emisiones por unidad de producción y el volumen de gas venteado. Estos indicadores son esenciales para mostrar el impacto ambiental de las operaciones y evidenciar los progresos en la reducción de emisiones. Además, deben incorporarse análisis detallados de las principales fuentes de emisiones, enfatizando los logros alcanzados en la mitigación y señalando las oportunidades de mejora. Este enfoque no solo enriquece el contenido de los reportes, sino que también refuerza su utilidad como herramienta para la toma de decisiones estratégicas.

La frecuencia y distribución de los reportes también requieren ajustes. Si bien la frecuencia mensual es adecuada para los informes internos, los públicos externos podrían beneficiarse de reportes trimestrales o anuales más completos. Estos informes deben publicarse en plataformas abiertas, como un micrositio web de sostenibilidad, donde las comunidades vecinas, reguladores y otros interesados puedan acceder fácilmente a la información. Además, integrar elementos interactivos, como secciones de preguntas frecuentes y foros digitales, podría mejorar la comunicación y fortalecer las relaciones con los grupos externos.

Plan de acción

El Plan de Acción presentado a continuación tiene como objetivo mejorar la eficiencia en la generación, análisis y distribución de los reportes de GEI en SPEC LNG. La estrategia propuesta abarca la automatización de procesos, la mejora en la accesibilidad y comprensión de la información, la integración de análisis de tendencias y comparaciones operativas, la personalización de reportes según los grupos de interés y la optimización de los canales de distribución.

Cada acción ha sido diseñada considerando los recursos disponibles, los actores clave involucrados y la alineación con los objetivos estratégicos de la organización en materia de sostenibilidad y reducción de emisiones. La implementación de este plan contribuirá a fortalecer la toma de decisiones basada en datos, mejorar la transparencia en la comunicación de impactos ambientales y facilitar la identificación de oportunidades de mejora en la gestión de GEI.

Acción	Descripción	Responsables	Horizonte de Tiempo	Recursos Necesarios
Automatización y centralización de reportes	Implementar el software PL4N3T para generar reportes automatizados y centralizados en una plataforma accesible.	Equipo de Sostenibilidad, TI, Quiripa	3 meses	Software PL4N3T, capacitación, integración con bases de datos
Estandarización de reportes	Crear un formato homogéneo y validado para la presentación de reportes de GEI, asegurando consistencia en datos y métricas.	Equipo de Sostenibilidad, Comunicaciones	2 meses	Plantillas de reportes, software de diseño y análisis
Incorporación de análisis de tendencias y comparaciones	Desarrollar dashboards interactivos con datos históricos,	Equipo de Sostenibilidad, TI	4 meses	Software de BI (Power BI, Tableau), capacitación

Acción	Descripción	Responsables	Horizonte de Tiempo	Recursos Necesarios
	tendencias y comparación entre áreas operativas.			
Personalización de reportes según grupos de interés	Definir necesidades específicas por cada público objetivo (alta gerencia, operaciones, comunidad, reguladores) y adaptar formatos.	Equipo de Sostenibilidad, Comunicaciones	3 meses	Entrevistas internas, entrevistas con stakeholders
Optimización de la distribución y frecuencia de reportes	Establecer canales de comunicación efectivos (intranet, email, boletines, presentaciones en foros) y definir periodicidad de difusión.	Equipo de Sostenibilidad, Comunicaciones	2 meses	Plataforma de comunicación interna, cronograma de difusión
Capacitación en interpretación de datos GEI	Realizar talleres y capacitaciones para asegurar que los usuarios comprendan los reportes y tomen decisiones basadas en datos.	Equipo de Sostenibilidad, HSEQ, RRHH	3 meses	Material de capacitación, instructores, sesiones virtuales y presenciales

Tabla 10. Plan de acción implementación software PL4N3T.

Conclusiones

La implementación de PL4N3T en SPEC LNG ha representado un avance en la gestión de emisiones de GEI, facilitando una mayor trazabilidad y accesibilidad de los datos. La digitalización y parametrización detallada de fuentes y factores de emisión han permitido estructurar la información ambiental de manera más precisa, alineando los cálculos con normativas internacionales como el GHG Protocol e ISO 14064-1.

Uno de los principales beneficios de PL4N3T ha sido la integración y consolidación de datos en una única plataforma, lo que ha mejorado la coordinación entre distintas áreas operativas de SPEC LNG. Sin embargo, el estudio evidenció desafíos en la visualización y comunicación de resultados, ya que la ausencia de indicadores clave de rendimiento (KPIs) visuales y análisis comparativos limita la capacidad de los tomadores de decisiones para identificar tendencias y evaluar el impacto de las medidas de reducción de emisiones.

A pesar de que PL4N3T ha optimizado el acceso a la información y la gestión de datos, aún presenta oportunidades de mejora en términos de usabilidad y accesibilidad. La incorporación de dashboards más intuitivos, reportes personalizados y herramientas de análisis predictivo facilitarían la interpretación de los resultados y permitirían una toma de decisiones más ágil y fundamentada. Actualmente, PL4N3T opera principalmente como un sistema de monitoreo y registro de emisiones, pero su potencial podría ampliarse si evoluciona hacia una herramienta estratégica, capaz de no solo registrar datos, sino también generar recomendaciones basadas en modelos predictivos y análisis avanzados. La

integración de inteligencia artificial y el desarrollo de módulos específicos para la toma de decisiones estratégicas permitirían a SPEC LNG anticipar tendencias y optimizar sus estrategias de mitigación de emisiones.

Por otro lado, el éxito de la digitalización de la gestión ambiental no depende únicamente de la tecnología, sino también del factor humano. Es fundamental fortalecer la capacitación del personal y fomentar una cultura organizacional que valore la interpretación y el uso de los datos generados por la plataforma. La aceptación y el uso eficiente de PL4N3T dependen en gran medida de la formación de los equipos y de su capacidad para integrar la información en la planificación operativa.

En términos generales, los resultados obtenidos evidencian que PL4N3T ha mejorado la organización y disponibilidad de los datos de emisiones en SPEC LNG, facilitando su recopilación y alineación con estándares internacionales. Aunque la herramienta no ha supuesto una transformación radical en la gestión de emisiones, sí ha permitido estructurar mejor la información, reducir errores y generar reportes más consistentes. Su capacidad de adaptación a las particularidades operativas de la empresa demuestra su potencial para optimizar procesos en el sector energético y en industrias con una alta generación de GEI.

No obstante, el impacto de la plataforma aún puede ampliarse si se fortalecen aspectos clave como la visualización de datos, la integración de análisis predictivos y la capacitación del personal en la interpretación de la información. Si bien PL4N3T ha sido útil para la sistematización de datos, su verdadero valor radicará en la

capacidad de SPEC LNG para utilizar esta información de manera estratégica y convertirla en un insumo clave para la toma de decisiones.

En conclusión, la implementación de PL4N3T representa un paso inicial importante en la modernización de la gestión de emisiones en SPEC LNG, pero su potencial aún no ha sido completamente explotado. Con las mejoras adecuadas, puede evolucionar de una herramienta de registro a un sistema que contribuya activamente a la reducción de la huella de carbono y al cumplimiento de los objetivos ambientales de la empresa.

Contribución a los ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de objetivos globales (17 objetivos) establecidos por la ONU para abordar los problemas globales más urgentes, como la pobreza, la desigualdad y el cambio climático, con el fin de lograr un futuro más justo y sostenible para todos.

El proyecto "Implementación de la Herramienta Tecnológica PL4N3T para la Gestión Integral de Emisiones GEI" contribuiría a varios ODS, en particular:

ODS 13: acción por el clima

Este ODS se centra en abordar el cambio climático y sus efectos. La gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es un aspecto clave para mitigar el cambio climático.

Meta 13.2: Incorporar medidas sobre el cambio climático en las políticas, estrategias y planeamientos nacionales.

Al integrar la herramienta tecnológica en SPEC LNG, se facilita la recopilación de datos relevantes y la elaboración de políticas más informadas para mitigar las emisiones de GEI a nivel organizacional y por ende su impacto a nivel nacional.

Meta 13.3: Mejorar la educación, la concientización y la capacidad humana e institucional sobre la mitigación del cambio climático, la adaptación, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

El uso de PL4N3T fortalece la capacidad de SPEC LNG para identificar, medir y reducir sus emisiones de GEI, permitiendo una acción proactiva frente al cambio climático.

ODS 9: industria, innovación e infraestructura

El ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura tiene como objetivo promover la creación de infraestructuras sostenibles, resilientes y de calidad, así como la innovación industrial para apoyar el desarrollo económico y mejorar el bienestar humano, con un enfoque especial en la sostenibilidad y el acceso equitativo.

Meta 9.1: Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad

Esta meta se centra en el desarrollo de infraestructuras sostenibles que apoyen el crecimiento económico y el bienestar social. En el contexto del proyecto, PL4N3T contribuye al desarrollo de una infraestructura tecnológica robusta y fiable para la medición y gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en SPEC LNG, garantizando que los procesos industriales sean más sostenibles y resilientes. La herramienta promueve la eficiencia operativa y la integración de tecnologías que favorecen el acceso equitativo a datos clave para la gestión ambiental.

Meta 9.2: Promover una industrialización inclusiva y sostenible

La industrialización debe ser inclusiva y respetuosa con el medio ambiente. El proyecto contribuye a esta meta al incorporar una herramienta tecnológica avanzada que permite a las industrias, como SPEC LNG, llevar a cabo procesos de

industrialización más sostenibles. PL4N3T facilita la reducción de la huella de carbono y las emisiones contaminantes, lo que fortalece la competitividad de la industria mientras promueve una economía baja en carbono, alineada con las metas de desarrollo sostenible.

Meta 9.3: Aumentar el acceso de las pequeñas industrias a los servicios financieros y su integración en las cadenas de valor

La herramienta PL4N3T puede facilitar la inclusión de pequeñas y medianas empresas en la cadena de valor global al proporcionarles herramientas tecnológicas para gestionar sus emisiones y cumplir con las normativas ambientales. Este tipo de innovación permite a las empresas acceder a créditos asequibles y a mejores oportunidades de integración en mercados sostenibles, especialmente en países en desarrollo, mejorando así su competitividad y sostenibilidad.

Meta 9.4: Modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles

PL4N3T ayuda a SPEC LNG a modernizar su infraestructura industrial mediante el uso de tecnologías limpias y eficaces. La herramienta permite mejorar el uso de los recursos naturales y reducir las emisiones de GEI, lo cual contribuye a la reconversión de procesos industriales para hacerlos más sostenibles. Esta modernización se alinea con la meta de promover la adopción de tecnologías industriales limpias y ambientalmente racionales en todas las industrias, incluyendo aquellas en países en desarrollo.

Meta 9.5: Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica

El proyecto está estrechamente relacionado con esta meta, ya que implica el uso de una herramienta innovadora, como PL4N3T, que integra tecnología avanzada para la medición y gestión de emisiones GEI. A través de su implementación, el proyecto contribuye a fortalecer la capacidad tecnológica de los sectores industriales y facilita la investigación sobre prácticas sostenibles en el manejo de emisiones, lo que es esencial para fomentar la innovación y avanzar en la sostenibilidad.

Impacto del trabajo de grado al desarrollo sostenible

En este apartado se presenta un análisis de los impactos de la implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T en SPEC LNG. Para llevar a cabo este análisis, se empleó la metodología SROI (Social Return on Investment), la cual permite valorar los impactos económicos, sociales y ambientales generados por una inversión. Este análisis se desarrolla bajo un enfoque prospectivo que busca anticipar los beneficios de la implementación de PL4N3T en un periodo inicial de 60 meses, considerando factores como optimización del proceso de cuantificación, sensibilización del personal y ahorro de costos operativos. La metodología incluye etapas como la identificación de partes interesadas, definición de resultados esperados y monetización de impactos, con el objetivo de calcular un índice SROI que refleje la rentabilidad social, ambiental y económica del proyecto.

El propósito principal de esta valoración es demostrar cómo la adopción de herramientas tecnológicas puede contribuir al desarrollo sostenible, justificando la inversión mediante la generación de beneficios tangibles para SPEC LNG y sus stakeholders. Este análisis pretende evidenciar que la integración de tecnologías innovadoras permite cumplir con metas ambientales, optimizar recursos, fortalecer la reputación corporativa y fomentar una cultura organizacional.

La audiencia objetivo incluye cuatro grupos clave: líderes y tomadores de decisiones de SPEC LNG, autoridades gubernamentales responsables del cumplimiento normativo y la mitigación del cambio climático, comunidades locales del área de

influencia de la empresa y académicos interesados en la replicabilidad de metodologías y casos prácticos.

El enfoque de este análisis está delimitado a las actividades operativas de SPEC LNG que generan emisiones de GEI. Se presta especial atención a la medición y monitoreo de emisiones, así como a los cambios derivados de la implementación de PL4N3T, incluyendo la automatización de reportes y la identificación de oportunidades de mitigación.

Mapa de impacto

El mapa de impacto identifica tres grupos de interés clave: la gestión interna de SPEC LNG, las autoridades gubernamentales y el sector energético nacional de Colombia (Ver tabla 11). Cada grupo tiene necesidades y problemas específicos a resolver. Para SPEC LNG, la principal limitación es la dificultad para identificar, monitorear y gestionar eficientemente las emisiones de GEI en sus operaciones. Por su parte, las autoridades necesitan cumplir con normativas de reporte de emisiones y compromisos climáticos, mientras que el sector energético nacional enfrenta la necesidad de estandarizar y adoptar mejores prácticas para la gestión de emisiones.

Los insumos necesarios varían para cada grupo de interés. En el caso de SPEC LNG, los insumos incluyen la licencia de la herramienta PL4N3T (con soporte técnico incluido), la capacitación especializada del personal técnico y los datos históricos de consumo, con una inversión de \$33.540.000 COP para los 60 meses.

Las autoridades gubernamentales requieren la configuración de PL4N3T adaptada a los estándares normativos, la generación automática de reportes alineados con las regulaciones nacionales e internacionales, y una base de datos de emisiones históricas, con un costo de \$8.000.000 COP. Por último, el sector energético nacional demanda datos históricos generados por PL4N3T, espacios de colaboración sectorial y guías prácticas sectoriales, con una inversión total de \$13.000.000 COP.

Las actividades clave también se adaptan a las necesidades de cada grupo. Para SPEC LNG, incluyen la configuración y personalización de PL4N3T, la recolección y análisis de datos históricos, y la capacitación del equipo técnico. Las autoridades se benefician de la configuración de PL4N3T para cumplir con estándares normativos, la generación automática de reportes alineados con las regulaciones y la capacitación en normativas aplicables. En el caso del sector energético nacional, las actividades abarcan la generación de reportes sectoriales basados en PL4N3T, la participación en foros de colaboración intersectorial y el diseño de casos de éxito replicables.

Supuestos de la valoración y datos considerados

Para llevar a cabo la valoración y monetización de los beneficios esperados con la implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T en SPEC LNG, se definieron una serie de supuestos clave que fundamentan los impactos proyectados.

En primer lugar, se considera que la automatización de la cuantificación de emisiones, mediante PL4N3T, reducirá los errores humanos en un 15%. Esto se debe a la eliminación de procesos manuales y a la incorporación de validaciones automáticas, lo que asegura una mayor precisión y consistencia en los reportes. Según estudios como los realizados por TRDSF, el uso de herramientas tecnológicas puede disminuir los errores en un rango del 10% al 30%, lo que sustenta esta proyección (Post, 2023).

Otro aspecto clave es la mejora en la eficiencia para analizar y consolidar datos de emisiones. Gracias a la automatización de procesos, se estima una reducción del 15% en el tiempo requerido para estas actividades. Esto se logra mediante la eliminación de redundancias y la integración de datos en tiempo real, lo que facilita la generación de reportes más rápidos y precisos. Estudios sectoriales han demostrado que las herramientas digitales permiten reducir los tiempos de análisis entre un 15% y un 20%, reforzando la validez de esta estimación (Camacho et al., 2021).

GRUPO DE INTERÉS	NECESIDAD O PROBLEMA PARA RESOLVER	INSUMOS		ACTIVIDADES	PRODUCTOS	RESULTADOS, OUTCOMES O BENEFICIOS
Grupo de Interés	Necesidad o Problema Para Resolver	Insumos	Valor (COP \$)	Actividades	Productos	Resultados / Outcomes / Beneficios
SPEC LNG (Gestión Interna)	Limitaciones para identificar, monitorear y gestionar eficientemente las emisiones de GEI en las operaciones de SPEC LNG	<ul style="list-style-type: none"> - Licencia de PL4N3T (incluye soporte técnico). - Capacitación especializada para personal técnico. - Datos históricos de consumo. 	\$ 33.540.000	<ul style="list-style-type: none"> - Configuración y personalización de PL4N3T. - Recolección y análisis de datos históricos. - Capacitación del equipo técnico. 	Implementación de PL4N3T para gestionar y cuantificar la huella de carbono organizacional	<p>Reducción de errores en reportes</p> <p>Mayor capacidad para priorizar estrategias de mitigación efectivas.</p>
Autoridades	Cumplir con normativas de reporte de emisiones y compromisos climáticos de Colombia.	<ul style="list-style-type: none"> - Herramienta PL4N3T. - Requisitos regulatorios nacionales e internacionales. - Base de datos de emisiones históricas. 	\$ 8.000.000	<ul style="list-style-type: none"> - Configuración de PL4N3T para cumplir con estándares normativos. - Generación automática de reportes alineados con regulaciones. - Capacitación al equipo en normativas aplicables. 	Configuración de PL4N3T para generar reportes alineados con regulaciones y fortalecer la transparencia.	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento garantizado de normativas ambientales. - Auditorías más eficientes.
Colombia (Sector Energético Nacional)	Necesidad de estandarizar y adoptar mejores prácticas para la gestión de emisiones en el sector.	<ul style="list-style-type: none"> - Datos históricos generados por PL4N3T. - Espacios de colaboración sectorial. - Guías prácticas sectoriales. 	\$ 13.000.000	<ul style="list-style-type: none"> - Generar reportes sectoriales basados en PL4N3T. - Participar en foros de colaboración intersectorial. - Diseñar casos de éxito replicables. 	Generación de datos e implementación de mejores prácticas para establecer estándares aplicables a nivel nacional.	Adopción de mejores prácticas a nivel sectorial.

Tabla 11. Mapa de impacto.

Además, se proyecta un aumento significativo en el porcentaje de auditorías exitosas, alcanzando un 70%. Este beneficio se atribuye a la automatización de procesos críticos como la recopilación y validación de datos, lo que disminuye las observaciones críticas y asegura un cumplimiento normativo más sólido. Investigaciones sobre digitalización en auditorías indican que tecnologías similares a PL4N3T pueden mejorar la precisión y la eficiencia en un rango del 20% al 30%, lo que respalda esta previsión (Escobar & Rojas, 2021).

Por último, se espera una disminución del 14% en los costos asociados a la gestión de emisiones de GEI. Este ahorro proviene de la optimización de procesos manuales, lo que se traduce en una operación más eficiente. Este resultado relaciona el costo de la gestión de las emisiones de GEI antes y después de la implementación de la plataforma, evidenciando el impacto positivo de PL4N3T en la reducción de gastos operativos.

Estos supuestos proporcionan un marco cuantitativo para la evaluación de los impactos y permitirán reflejar cómo la herramienta PL4N3T puede transformar la gestión de emisiones en SPEC LNG, generando beneficios tangibles en términos de sostenibilidad y eficiencia.

Síntesis de resultados del cálculo del SROI y análisis

El análisis del SROI muestra un ratio de 2.2, lo que significa que por cada peso invertido, se genera un retorno social de 2,2. Este SROI indica que el proyecto no solo cubre el valor social generado con el monto invertido, sino que también genera un excedente

social considerable. Este resultado refleja que las inversiones realizadas tienen un impacto directo significativo, aunque todavía existen oportunidades para maximizar el valor social generado en relación con los costos.

Para interpretar mejor estos resultados se realizará un análisis de sensibilidad de los siguientes aspectos:

- **Impacto de los inputs:** Si el valor de los inputs aumenta un 10% (a un costo estimado de \$59.994.000), el SROI se reduce a 2,0, alcanzando un punto más cercano al equilibrio, pero aún positivo.

Por otro lado, una reducción del 10% en los inputs (a \$49.086.000) incrementa el SROI a 2,4. Esto demuestra que, aunque el ratio sigue siendo sensible a variaciones en los costos de inversión, la posición inicial de 2,2 brinda un margen de estabilidad frente a posibles incrementos en los inputs.

- **Impacto de los beneficios:** Si el valor total de los beneficios disminuye un 10% (a aproximadamente \$109.395.758,3), el SROI cae a 1,98, manteniéndose positivo, pero reflejando menor eficiencia.

Por otro lado, un aumento del 10% en los beneficios (a \$133.706.351,9) eleva el SROI a 2,42, evidenciando que los beneficios netos son un factor crítico para garantizar un retorno social sólido y maximizado.

- **Factores asociados:**

- *Atribución o peso muerto:* La atribución promedio sigue oscilando entre un 10% y 20%, lo que significa que una parte significativa de los beneficios generados aún es atribuible a factores externos. Este nivel de atribución implica que las

actividades propias están contribuyendo de manera efectiva, aunque todavía hay espacio para optimizar el impacto exclusivo.

- *Desplazamiento*: El desplazamiento se reporta en un 0% en todos los casos, lo que indica que las actividades no están trasladando problemas a otras áreas o grupos. Esto es un resultado positivo, ya que garantiza que los beneficios generados no tienen efectos secundarios negativos. Sin embargo, es esencial mantener monitoreo constante para prevenir cualquier riesgo futuro de desplazamiento.
- *Decrecimiento*: El decrecimiento anual de los beneficios varía entre un 5% y un 10%, reflejando una pérdida progresiva de impacto con el tiempo.

Entre los factores relevantes que pueden ocurrir, se encuentran:

- **Beneficios directos**: el proyecto seguramente incorpora beneficios como la reducción de emisiones GEI la mejora en la eficiencia operativa, y la contribución al cumplimiento de estándares ambientales.
- **Alcance de impactos medidos**: Es posible que los beneficios sociales indirectos o intangibles (como el impacto positivo en la percepción de la empresa por la comunidad o la contribución al conocimiento y la innovación tecnológica) no hayan sido plenamente cuantificados o valorados en el cálculo.
- **Costos iniciales altos**: la inversión inicial en una herramienta tecnológica innovadora, como PL4N3T, puede ser significativa y dificultar una relación costo-beneficio más favorable en las primeras etapas de implementación.

Con base en este resultado, se sugieren ampliar la evaluación de beneficios sociales, identificando e incorporando métricas para medir impactos secundarios, como la capacitación del personal, la mejora en la calidad del aire local y el impulso al cumplimiento de los compromisos climáticos de la empresa.

Un SROI de 2,2 representa una base sólida para proyectos innovadores, especialmente cuando el enfoque principal es sentar precedentes en sostenibilidad y responsabilidad corporativa. Para SPEC LNG, la adopción de PL4N3T se alinea con la estrategia de descarbonización de la empresa y la posiciona como líder en la transición energética, lo que puede generar valor a largo plazo.

En conclusión, el análisis muestra que con un SROI de 2,2, el modelo presenta un retorno social sólido que supera considerablemente la inversión inicial, generando un excedente social importante. Aunque el modelo sigue siendo sensible a variaciones en los costos de los inputs y en los beneficios generados, el margen positivo actual proporciona una base estable.

Para maximizar el impacto social y mantener la estabilidad del SROI, es necesario garantizar que los proxies financieros capturen fielmente el valor creado, optimizar la gestión de recursos para reducir costos no esenciales y minimizar la dependencia de factores externos asociados a la atribución y el peso muerto.

Usos potenciales de los resultados

El cálculo del SROI, con un índice actualizado de 2,2, ofrece a SPEC LNG herramientas clave para fortalecer su impacto en sostenibilidad y mejorar su desempeño operativo. Este resultado refleja un retorno social, económico y ambiental significativo, que guía decisiones estratégicas y posiciona a la empresa como un referente en sostenibilidad.

En la planificación estratégica, el SROI permite priorizar inversiones en tecnologías sostenibles, optimizar recursos y diseñar estrategias de descarbonización basadas en datos sólidos. Esto asegura que las inversiones estén alineadas con los objetivos globales de sostenibilidad, maximizando el impacto positivo de cada proyecto.

Desde el cumplimiento normativo, los resultados del SROI proporcionan evidencia técnica que facilita auditorías, reportes y negociaciones regulatorias. Al demostrar el impacto positivo de sus acciones, SPEC LNG refuerza su compromiso con normativas ambientales y climáticas nacionales e internacionales.

En términos de reputación corporativa, el análisis posiciona a SPEC LNG como un líder responsable y comprometido con la sostenibilidad. Los resultados pueden comunicarse estratégicamente para fortalecer relaciones con comunidades locales, clientes y autoridades, consolidando la imagen de la empresa como innovadora y responsable.

Finalmente, los resultados tienen un alto potencial para ser replicados en el sector energético. Sirven como caso práctico para inspirar la adopción de soluciones tecnológicas sostenibles, fomentando mejores prácticas en la gestión de emisiones.

Biografías

Jhorman Alcides Sarmiento Figueroa Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, con una especialización en Análisis y Gestión Ambiental de la Universidad del Norte, y actualmente curso una Maestría en Sostenibilidad en la Universidad EAFIT. Con más de nueve años de experiencia en el sector socio-ambiental, he liderado la implementación de Sistemas Integrados de Gestión basados en las normas ISO 14001, 9001 y 45001, promoviendo el cumplimiento de estándares internacionales como las Normas de Desempeño del IFC y los Principios de Ecuador.

A lo largo de mi carrera, he obtenido logros destacados como la certificación de puertos en ECOPORTS, la implementación de sistemas de economía circular y la verificación de la huella de carbono en SPEC LNG. Mi compromiso con la sostenibilidad y su visión estratégica han contribuido significativamente al desarrollo de proyectos innovadores y al fortalecimiento de prácticas responsables en el sector industrial.

Correo electrónico: ingsarmientof@gmail.com

LinkedIn: www.linkedin.com/in/jhorman-sarmiento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3657-1561>

María Camila Fajardo Sanabria es Ingeniera Química, especialista en Alta Gerencia de la Universidad Nacional de Colombia y maestrante en Sostenibilidad en la Universidad EAFIT. Su formación académica incluye estudios que fortalecen su perfil técnico, como el Programa de Formación para Auditores Internos en Huella de Carbono según la NTC

ISO 14064-1:2020, la certificación como Auditor Líder en Verificación y Validación de Proyectos GEI, y el Curso de Plan de Descarbonización, entre otros.

Con más de 6 años de experiencia profesional, actualmente es gerente de Quiripa S.A.S., donde lidera la estrategia y operación de la plataforma tecnológica PL4N3T, orientada a ofrecer soluciones integrales en la gestión de huellas de carbono organizacionales. A lo largo de su trayectoria, ha trabajado en la cuantificación de huellas de carbono para organizaciones, eventos y proyectos, aplicando estándares internacionales como la ISO 14064-1 y el GHG Protocol.

Correo electrónico: macfajardosa@gmail.com

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/maria-camila-fajardo/>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2583-7889>

Angélica María Cordero Dávila es una profesional comprometida con el desarrollo sostenible y la gestión empresarial eficiente. Inicié mi trayectoria académica como Tecnóloga en Administración e Informática, lo que me permitió dar el primer paso hacia una carrera enfocada en la gestión. Posteriormente, graduada como Administradora de Empresas, con especializaciones en Alta Gerencia y en Riesgos Laborales. En la actualidad, curso la Maestría en Sostenibilidad en la Universidad EAFIT, lo que refleja mi interés y compromiso por adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para abordar los retos ambientales, sociales y económicos que enfrenta el mundo moderno.

Mi experiencia profesional incluye la implementación de Sistemas de Gestión en una variedad de sectores y organizaciones a nivel nacional, con un enfoque particular en la

mejora continua. He liderado procesos de auditoría y certificación en estándares de seguridad vial, seguridad privada y gestión de riesgos.

Correo electrónico: angelicacordero1@hotmail.com

LinkedIn: www.linkedin.com/in/angelica-maria-cordero-davila-ba2657a2

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7933-5289>

Ana Maria Gomez-Trujillo es profesora titular en Fundación Universitaria CEIPA (Colombia). Anteriormente, coordinó el programa de Negocios Internacionales en el Tecnológico de Monterrey, campus Sinaloa (México). Fue miembro del consejo ejecutivo de Women in the Academy of International Business (WAIB) (2019-2021) y obtuvo el tercer lugar en la Competencia de Tesis Doctorales EDAMBA 2023. Es Directora Nacional de AIB-LAC (2024-2027) y Global Partner Affiliate Faculty en Arizona State University (2024-2026). Tiene un doctorado y una maestría en administración y negocios internacionales de la Universidad EAFIT (Colombia).

Ha trabajado en Banco de Bogotá, Konfirma S.A.S, Tata Consultancy Services, Scentrade Branding Olfativo y Postobón. Ha publicado 23 trabajos académicos en internacionalización, sostenibilidad y responsabilidad social, presentados en más de 20 conferencias internacionales. Ha vivido en Reino Unido, México y Colombia, y visitado 23 países.

Correo electrónico: ana.gomez@ceipa.edu.co

LinkedIn: <https://co.linkedin.com/in/ana-maria-gomez-trujillo>

[625317119?original_referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.google.com/?original_referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F625317119?original_referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F625317119)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4932-1206>

Agradecimientos y reconocimientos

Queremos expresar nuestra más profunda gratitud por el invaluable apoyo y contribución de todas las personas y las organizaciones elegidas que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación. Agradecemos especialmente a la profesora Ana María Gómez Trujillo, nuestra tutora, por su guía, dedicación y compromiso a lo largo de todo el proceso. Sus observaciones críticas y sus constantes sugerencias fueron fundamentales para superar los desafíos encontrados y alcanzar los objetivos planteados.

Extendemos nuestro agradecimiento a los líderes de SPEC LNG, cuya disposición para compartir su información, sus experiencias, perspectivas y conocimientos prácticos enriqueció de manera significativa nuestra investigación, permitiéndonos comprender en profundidad los desafíos, oportunidades y avances en la gestión integral de emisiones de gases de efecto invernadero mediante la implementación de la herramienta tecnológica PL4N3T.

Asimismo, queremos expresar nuestro especial agradecimiento a QUIRIPA S.A.S., gestor y propietario de la herramienta tecnológica PL4N3T, por su colaboración y por brindar el acceso necesario a la plataforma, elemento prioritario para la realización de este estudio y para el fortalecimiento de la gestión de emisiones en SPEC LNG.

Referencias Bibliográficas

Auschild, M. R. (2018). *Evaluación del Ciclo de Vida: Teoría y Práctica*.

Balza, L. H., Heras-Recuero, L., Matias, D., & Yépes-García, R. A. (2024). Green or growth? Understanding the relationship between economic growth and CO2 emissions. *Inter-American Development Bank*.

Balza, L. H.-R.-G. (2024). *Green or Growth? Understanding the Reference 196 Relationship between Economic Growth and CO2 Emissions*. Washington D.C.: Inter-American Development Bank.

Center on Global Energy Policy. (8 de July de 2021). *Carbon-neutral LNG: Creating a framework for real emissions reductions*. Columbia University. Obtenido de <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/carbon-neutral-lng-market-creating-framework-real-emissions-reductions/>

Coimbatore Meenakshi Sundaram, A. y. (2020). *Gestión del gas de ebullición (BOG) y operaciones de bunkering en la industria del GNL: Desafíos y oportunidades para la reducción de emisiones de GEI*.

Daniel Castrejón, Ó. P. (2022). *La industria del gas en América Latina y el Caribe*. Ciudad de México: Adrián L. Sánchez Martínez.

Guzmán, J. S.-G. (2023). *Leveraging Real Time Operational Data to Reduce Greenhouse Gas Emissions*.

Howarth, R. W. (2023). *Emisiones de metano en el transporte marítimo del GNL y su impacto en la cadena de suministro*.

Howarth, R. W. (2024). The greenhouse gas footprint of liquefied natural gas (LNG) exported from the United States. *Energy Science & Engineering*, 103, 1-17.
doi:<https://doi.org/10.1002/ese3.1934>

International Gas Union. (2024). World LNG Report: 2024. *IGU*.

Konoplyanik, A. (2022). Challenges and potential solutions for Russia during global gas transformation and “Green Revolution”. *Energy Policy*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112870>

LNG Industry. (27 de March de 2019). *Latin America and the Caribbean in focus*.
Obtenido de <https://www.lngindustry.com/special-reports/27052019/latinamerica-and-thecaribbean-in-focus/>

LNG Industry. (15 de July de 2024). *LNG in Latin America: A tale of two markets*.
Obtenido de <https://www.lngindustry.com/special-reports/15072024/lng-in-latin-america-a-tale-of-two-markets/>

McKinsey & Company. (30 de June de 2021). *The impact of decarbonization on the gas and LNG industry*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-impact-of-decarbonization-on-the-gas-and-lng-industry>

National Energy Technology Laboratory. (2019). *Evaluación del ciclo de vida del GNL y estrategias para reducir las emisiones de GEI*.

Naturgas. (2023). *La industria del gas natural representa solo el 1% de las emisiones de GEI en Colombia*. Bogotá.

Pambudi, N. A. (2023). *Impacto de la etapa de extracción y licuefacción en las emisiones de GEI en la cadena de suministro del GNL*.

PL4N3T. (12 de October de 2024). Obtenido de <https://pl4n3t.com/>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (15 de Febrero de 2022). Obtenido de <https://www.undp.org/es/latin-america/blog/dejando-una-buena-huella-en-america-latina>

Seidel, S. R. (2014). IT-enabled Sustainability Transformation—the Case of SAP IT-enabled Sustainability Transformation—the Case. *AIS Electronic Library (AISEL)*, 19.

SPEC LNG. (12 de October de 2024). *SPEC LNG*. Obtenido de <https://www.speclng.com/Paginas/default.aspx>

Takam, G. G. (2023). *Análisis de ciclo de vida (ACV) para la estimación de la huella de carbono en la cadena de suministro del GNL*.

Takam, G. G. (2023). *Enfoques integrales para la descarbonización: Consideración de emisiones directas e indirectas en la industria*.

Takam, T., Ghorayeb, A., & Bouallou, C. (2023). Liquefied natural gas regasification terminals: Life cycle assessment/carbon footprint tool and proposal for decarbonization solutions. *Chemical Engineering Transactions*, 103, 25-30. doi:<https://doi.org/10.3303/CET23103005>

- United Nations Environment Programme. (2023). *Is natural gas really the bridge fuel the world needs?* Obtenido de UNEP: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/natural-gas-really-bridge-fuel-world-needs>
- Victoria, M., Zeyen, E., & Brown, T. (2022). Speed of technological transformations required in Europe to achieve different climate goals. *Journal of Energy Studies*.
- World Economic Forum. (5 de April de 2022). *IPCC report: How to mitigate climate change*. Obtenido de World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2022/04/ipcc-report-mitigation-climate-change/>
- WWF. (2020). Colombia strengthens climate ambition with 2030 target and enhanced NDC. *World Wide Fund for Nature*. Obtenido de https://wwf.panda.org/wwf_news/?1152816/Colombia-2030-target-NDC
- Yong Li, W. X. (2023). *Research on the carbon emissions traceability inventory and multi-horizon prediction of ship carbon emissions: a case study of Tianjin Port*. Beijing, China,.
- Yuwan Li, K. F. (2024). *Risk assessment of achieving greenhouse gas emission reduction target in the maritime industry*.
- Zhang, Y. K. (2019). The influence of management innovation and technological innovation on organization performance. a mediating role of sustainability. *Sustainability*.

ANEXOS

Anexo A. Consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN EL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE PL4NT3 PARA LA CUANTIFICACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Proyecto: Implementación de software PL4NT3 para la cuantificación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la empresa SPEC LNG.

Estudiantes proyecto: María Camila Fajardo Sanabria, Jhorman Alcides Sarmiento Figueroa, Angélica María Cordero Dávila.

Facultad: Escuela de Administración, Maestría en Sostenibilidad.

Objetivo del Proyecto:

El objetivo de este proyecto es implementar el software PL4NT3 para la cuantificación eficiente, práctica y segura de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la empresa SPEC LNG. Este software busca optimizar los procesos de medición y análisis de los GEI, mejorando su precisión, tiempo de respuesta y contribuyendo al cumplimiento de las normativas ambientales, promoviendo la sostenibilidad dentro de la empresa.

Descripción de la Participación:

Al participar en este proyecto, se espera que los empleados de SPEC LNG, o cualquier otro involucrado, colaboren proporcionando acceso a los datos y recursos necesarios para la implementación y prueba del software.

Posibles Beneficios:

1. Mejora en la eficiencia y rapidez de la cuantificación de los GEI en la empresa.
2. Reducción de costos y recursos empleados en el proceso de medición de emisiones.
3. Contribución al fortalecimiento de las prácticas de sostenibilidad dentro de la organización.
4. Posible mejora en el cumplimiento de regulaciones ambientales, lo que podría tener implicaciones positivas a nivel corporativo y para el medio ambiente.

Posibles riesgos:

El proyecto no implica riesgos significativos para los participantes. Sin embargo, como con cualquier implementación tecnológica, podrían presentarse inconvenientes relacionados con el aprendizaje de nuevas herramientas, pequeñas interrupciones en los procesos operativos debido a la integración del software, o posibles errores técnicos. Todos estos aspectos serán gestionados y supervisados de cerca para garantizar que no afecten de manera significativa la operación de la empresa.

Confidencialidad:

Toda la información obtenida durante el desarrollo del proyecto será tratada de manera confidencial. Los datos serán utilizados exclusivamente para los fines del proyecto y no se divulgarán a terceros sin el consentimiento previo de los participantes. El uso de la información será estrictamente académico y profesional.

Voluntariedad y derecho a retirarse:

La participación en este proyecto es completamente voluntaria. Los participantes tienen el derecho de retirarse en cualquier momento sin que ello implique ninguna consecuencia negativa para ellos o para la empresa. Si un participante decide retirarse, toda la información recabada hasta ese momento será eliminada, salvo que se haya acordado lo contrario de manera explícita.

Consentimiento:

Al firmar este documento, usted confirma que ha leído y comprendido la información proporcionada acerca del proyecto, los posibles riesgos y beneficios, y da su consentimiento para participar en la implementación del software PL4NT3 en la empresa SPEC LNG. Se le ha brindado la oportunidad de hacer preguntas y recibir respuestas satisfactorias. Usted tiene derecho a obtener una copia de este consentimiento para su archivo personal.

Firma del Participante:

Nombre completo: _____

Firma: _____

Cargo: _____

Fecha: _____

Firma del Investigador Principal:

Nombre completo: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Nombre completo: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Anexo B. Categorías de las entrevistas.

Categorías	Descripción	Preguntas
Procesos operativos	Diagnosticar y mapear las actividades clave de SPEC LNG que generan emisiones de GEI, evaluando las etapas de regasificación, transporte y almacenamiento, para entender los puntos críticos de emisión y oportunidades de mejora en los procesos operativos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cuáles son las principales actividades operativas de SPEC LNG? 2. ¿Qué equipos y tecnologías se utilizan en cada etapa del proceso? 3. ¿Existen procesos críticos que generan más emisiones de GEI y por qué?
Gestión actual de emisiones	Evaluar los sistemas y metodologías utilizados actualmente para medir, reportar y gestionar las emisiones de GEI, identificando brechas, limitaciones y	<ol style="list-style-type: none"> 4. ¿Cómo se realiza actualmente el monitoreo y reporte de emisiones de GEI? 5. ¿Qué datos actualmente se recopilan sobre las emisiones de GEI en su proceso? 6. ¿Cómo evalúa la calidad de los datos recopilados?

Categorías	Descripción	Preguntas
	oportunidades para optimizar la gestión con la herramienta PL4N3T.	<p>7. ¿Qué tecnologías, herramientas o software se utilizan para la gestión de emisiones?</p> <p>8. ¿Qué desafíos enfrentan al recopilar, procesar y reportar los datos de emisiones actualmente?</p> <p>9. ¿Qué tan frecuentes son las auditorías internas y externas sobre los datos de emisiones?</p> <p>10. ¿Cómo priorizan las fuentes críticas de emisión?</p> <p>11. ¿Cuáles consideras que podrían ser los beneficios, desafíos y oportunidades de implementar la herramienta PL4N3T en la gestión de emisiones de GEI?</p> <p>12. ¿Qué indicadores o métricas considera clave para el monitoreo de emisiones?</p>

Categorías	Descripción	Preguntas
		<p>13. ¿Qué elementos consideras deben incluirse en los reportes de emisiones para facilitar la toma de decisiones estratégicas relacionadas con su gestión?</p> <p>14. ¿Con qué frecuencia se necesitan los reportes de emisiones y quiénes son los destinatarios principales?</p> <p>15. ¿Cómo consideras que la herramienta puede fortalecer la toma de decisiones operativas y estratégicas de la organización?</p>