

Diseño de un plan de acción para el control del riesgo químico por exposición a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo en Ecopetrol S.A., orientado al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

Trabajo final presentado por:	Diego Alejandro Orjuela Romero Tania Mayerly Sánchez Mantilla
Programa:	Especialización en Gerencia de Seguridad y Salud en el Trabajo
Docente:	DANIEL ANDRES RODRIGUEZ
Fecha:	28/02/2026

Índice de contenidos

Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	6
1.1. Objetivo General.....	6
1.2. Objetivos Específicos	6
1.3. Metodología	7
1.3.1. Identificación y Análisis del Problema.....	8
1.3.2. Planificación de la Solución	10
2. Identificación y descripción un problema al interior de la organización	12
2.1. Descripción de la empresa a intervenir.....	13
2.1.1. Misión	13
2.1.2. Visión	13
2.1.3. Mapa de procesos	14
2.1.4. Descripción del proceso a intervenir.....	14
2.1.5. Descripción del problema que presenta el proceso.....	16
3. Establecimiento de planes de acción para la solución del problema	17
3.1. Establecimiento de objetivos	19
3.2. Descripción de la solución	19
3.3. Secuencia de actividades para ejecución de la solución	21
3.4. Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución.....	22
4. Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos. 24	
4.1. Alcance final de la solución	24
4.2. Identificación de responsables de las actividades para ejecución.....	25
4.3. Cronograma de ejecución.....	26

4.4.	Presupuesto.....	28
5.	PROPUESTA INNOVADORA COMO VALOR AGREGADO DEL PROYECTO	28
5.1.	Sistema Inteligente de Monitoreo Predictivo de Exposición a Vapores (SIMPEV) ..	28
5.2.	Propuesta Alternativa: Modelo de Cultura Preventiva y Liderazgo en Riesgo Químico (MCL-RQ).....	30
6.	Referencias bibliográficas	32

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un plan de acción para el control del riesgo químico asociado a la exposición ocupacional a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo de Ecopetrol S.A., orientado al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. La problemática identificada se relaciona con la liberación de compuestos orgánicos volátiles durante actividades operativas como cargue, descargue, mantenimiento e inspección de sistemas de transporte, generando potenciales efectos adversos en la salud de los trabajadores.

La metodología aplicada corresponde al enfoque de investigación–acción, integrando el diagnóstico técnico con la formulación de estrategias de mejora. Se realizó la identificación y evaluación del riesgo químico mediante la aplicación de la Guía Técnica Colombiana GTC-45, considerando niveles de deficiencia, exposición y consecuencia. Con base en los resultados, se formularon medidas de intervención fundamentadas en la jerarquía de controles, priorizando acciones en la fuente, el medio y el trabajador.

Como resultado, se estructuró un plan de acción con actividades, responsables, cronograma, recursos e indicadores de seguimiento, orientado a reducir la exposición y prevenir enfermedades laborales, fortaleciendo la gestión preventiva del proceso.

Palabras clave:

Riesgo químico, hidrocarburos, vapores orgánicos volátiles, Seguridad y Salud en el Trabajo, transporte de crudo, prevención de enfermedades laborales.

ABSTRACT

The objective of this project is to design an action plan to control the chemical risk associated with occupational exposure to hydrocarbons and volatile organic vapors in Ecopetrol S.A.'s crude oil transportation process, aimed at strengthening the Occupational Health and Safety Management System. The problem identified is related to the release of volatile organic compounds during operational activities such as loading, unloading, maintenance, and inspection of transportation systems, generating potential adverse effects on workers' health.

The methodology applied corresponds to the research-action approach, integrating technical diagnosis with the formulation of improvement strategies. Chemical risk identification and assessment was carried out by applying Colombian Technical Guide GTC-45, considering levels of deficiency, exposure, and consequence. Based on the results, intervention measures were formulated based on the hierarchy of controls, prioritizing actions at the source, the environment, and the worker.

As a result, an action plan was structured with activities, responsible parties, a schedule, resources, and monitoring indicators, aimed at reducing exposure and preventing occupational diseases, strengthening the preventive management of the process.

Keywords:

Chemical risk, hydrocarbons, volatile organic vapors, Occupational Health and Safety, crude oil transportation, prevention of occupational diseases.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo químico es un componente esencial del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, especialmente en el sector de hidrocarburos, donde los trabajadores están expuestos a sustancias peligrosas que pueden afectar su salud a corto y largo plazo. La manipulación, almacenamiento y transporte de hidrocarburos implican la liberación potencial de vapores y compuestos orgánicos volátiles, cuya exposición sin controles adecuados puede generar enfermedades laborales, afectaciones respiratorias y otros efectos adversos, constituyendo un desafío prioritario para la gestión preventiva.

En este contexto, el proceso de transporte de hidrocarburos en Ecopetrol S.A. representa una actividad estratégica que involucra condiciones de trabajo con presencia de agentes químicos peligrosos, especialmente durante operaciones de cargue, descargue y mantenimiento. Esta situación exige la implementación de medidas orientadas a la identificación, evaluación y control de los riesgos, en cumplimiento de la normatividad vigente y los principios de prevención.

Por lo anterior, el presente proyecto analiza la exposición a sustancias peligrosas desde el enfoque del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, con el fin de proponer acciones que contribuyan a la protección de la salud de los trabajadores y al fortalecimiento de la gestión preventiva.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de acción orientado al control del riesgo químico por exposición a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo en Ecopetrol S.A., mediante la identificación y evaluación de las condiciones de exposición y la formulación de medidas de intervención, con el fin de fortalecer el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y contribuir a la prevención de enfermedades laborales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las fuentes generadoras de exposición a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo, mediante el análisis de las actividades operativas, las condiciones de trabajo y los controles existentes.

- Evaluar el nivel de riesgo químico al que se encuentran expuestos los trabajadores, mediante la aplicación de la metodología establecida en la Guía Técnica Colombiana GTC-45, con el fin de determinar su nivel de criticidad.
- Formular medidas de intervención basadas en la jerarquía de controles, orientadas al control del riesgo químico y al fortalecimiento de las condiciones de trabajo seguras.
- Estructurar el plan de acción que incluya actividades, responsables, recursos e indicadores de seguimiento, orientado al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

1.3. METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrolló bajo el enfoque de investigación–acción, el cual permitió abordar una problemática real dentro de la empresa Ecopetrol S.A. mediante un proceso sistemático de análisis, reflexión y propuesta de mejora. Esta metodología se caracteriza por su orientación práctica y participativa, ya que busca no solo comprender una situación organizacional específica, sino también generar soluciones aplicables que contribuyan a la mejora continua de los procesos intervenidos.

La investigación–acción resultó adecuada para este proyecto debido a su capacidad para integrar teoría y práctica, permitiendo analizar el proceso de transporte y logística de hidrocarburos desde una perspectiva crítica, contextualizada y orientada a la toma de decisiones. A través de este enfoque, se fortalecieron habilidades de diagnóstico organizacional, análisis de procesos y planificación estratégica, fundamentales para la gestión eficiente en organizaciones de alta complejidad operativa como Ecopetrol.

El desarrollo metodológico del proyecto se estructuró en dos fases principales, las cuales se describen a continuación:

1. Identificación y análisis del problema

El presente proyecto se desarrollará mediante la metodología de investigación–acción, la cual permite integrar el análisis técnico con la formulación de propuestas de mejora orientadas a la solución de problemáticas reales en el contexto organizacional. Este enfoque facilita la comprensión de la exposición a sustancias peligrosas como factor de riesgo químico en el proceso de transporte de hidrocarburos en Ecopetrol S.A., permitiendo no solo identificar sus causas y consecuencias, sino también establecer acciones de intervención orientadas al

fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. La investigación– acción se fundamenta en un proceso sistemático, reflexivo y aplicado, que articula el diagnóstico, la planificación y el diseño de estrategias de mejora desde un enfoque preventivo.

En la primera etapa, correspondiente al diagnóstico, se realizará la identificación del proceso objeto de estudio y la caracterización de las actividades en las cuales existe exposición a hidrocarburos y vapores. Para ello, se efectuará la revisión documental de la normatividad aplicable, literatura técnica y lineamientos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como el análisis de la matriz de identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos, con base en la metodología establecida en la GTC 45. Esta etapa permitirá reconocer las fuentes de generación del riesgo químico, las condiciones de exposición y sus posibles efectos sobre la salud de los trabajadores.

En la segunda etapa, correspondiente a la planificación, se realizará la evaluación del riesgo químico identificado, considerando criterios como nivel de deficiencia, nivel de exposición y nivel de consecuencia, con el fin de determinar su nivel de riesgo y priorizar su intervención. Con base en los resultados obtenidos, se formularán estrategias de control fundamentadas en la jerarquía de controles, incluyendo medidas de control en la fuente, en el medio y en el trabajador, orientadas a la prevención de enfermedades laborales y al fortalecimiento de las condiciones de trabajo seguras.

Finalmente, en la tercera etapa, correspondiente al diseño de la intervención, se estructurará un plan de acción que incluirá las actividades propuestas, el cronograma de ejecución, la asignación de responsables, los recursos requeridos y los indicadores de seguimiento. Esta etapa permitirá consolidar una propuesta técnicamente fundamentada, orientada al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y a la gestión efectiva del riesgo químico, contribuyendo a la protección de la salud de los trabajadores y al mejoramiento continuo de las condiciones laborales.

1.3.1. Identificación y Análisis del Problema

El transporte de hidrocarburos constituye una actividad crítica en la industria petrolera, en la cual los trabajadores pueden estar expuestos a compuestos orgánicos volátiles (COV) liberados durante operaciones de cargue, descargue, transferencia y mantenimiento. Estos

compuestos incluyen sustancias como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), ampliamente reconocidas por sus efectos adversos sobre la salud. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha clasificado el benceno como carcinógeno del Grupo 1, con evidencia suficiente de su asociación con leucemia y otros trastornos hematológicos derivados de la exposición ocupacional prolongada (International Agency for Research on Cancer, 2018). Asimismo, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional advierte que la exposición a vapores de hidrocarburos puede generar alteraciones respiratorias, neurológicas y dermatológicas, incluso a concentraciones relativamente bajas, dependiendo del tiempo y nivel de exposición (Occupational Safety and Health Administration, s.f.).

En el contexto del proceso de transporte de hidrocarburos en Ecopetrol S.A., estas condiciones de exposición pueden presentarse en actividades operativas donde existe manipulación directa de fluidos y apertura de sistemas, lo que facilita la liberación de vapores al ambiente laboral. Diversos estudios han evidenciado que los trabajadores del sector petrolero presentan mayor riesgo de desarrollar enfermedades asociadas a la exposición a hidrocarburos, especialmente cuando no se cuenta con controles de ingeniería adecuados, monitoreo ambiental continuo y programas específicos de vigilancia epidemiológica (Kirkeleit J, Riise T, Bråtveit M, Moen BE., 2008) (Vlaanderen J, Portengen L, Rothman N, Lan Q, Kromhout H, Vermeulen R, 2010). Esta situación representa un factor crítico dentro de la gestión del riesgo químico, debido a su impacto potencial sobre la salud, la capacidad laboral y la calidad de vida de los trabajadores.

En Colombia, el Decreto 1072 de 2015 establece la obligatoriedad de implementar un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo basado en la identificación, evaluación y control de los riesgos laborales, incluyendo los derivados de la exposición a sustancias químicas peligrosas (Ministerio de Trabajo, 2015). En concordancia con lo anterior, la GTC 45 proporciona los lineamientos técnicos para la identificación de peligros y valoración de riesgos, constituyéndose en una herramienta fundamental para la gestión preventiva del riesgo químico. No obstante, la persistencia de condiciones de exposición en el proceso de transporte de hidrocarburos evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de control y prevención, mediante intervenciones estructuradas que permitan reducir la exposición ocupacional y prevenir la ocurrencia de enfermedades laborales. Por tanto, el análisis de esta

problemática resulta fundamental para el fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y la protección integral de los trabajadores.

1.3.2. Planificación de la Solución

La planificación de la solución se fundamenta en el fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo frente a la exposición a hidrocarburos y vapores en el proceso de transporte de hidrocarburos en Ecopetrol S.A., en cumplimiento de lo establecido en el Decreto 1072 de 2015, el cual define la obligación de implementar medidas para la identificación, evaluación y control de los riesgos laborales (Ministerio de Trabajo, 2015).

Inicialmente, se realizará la actualización de la matriz de identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos, de acuerdo con la metodología establecida en la Guía Técnica Colombiana GTC 45, la cual permite clasificar y priorizar los riesgos en función de su nivel de deficiencia, exposición y consecuencia (ICONTEC, 2012). Esta actividad permitirá identificar las condiciones de exposición a vapores de hidrocarburos y establecer los niveles de riesgo asociados.

Posteriormente, se diseñará un plan de intervención basado en la jerarquía de controles, priorizando controles de ingeniería, administrativos y el uso de elementos de protección personal, con el fin de reducir la exposición de los trabajadores a sustancias químicas peligrosas, de acuerdo con los principios de la gestión del riesgo químico establecidos por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration, 2023)

Finalmente, se estructurará un plan de acción que incluirá actividades, responsables, cronograma, recursos e indicadores de seguimiento, con el propósito de garantizar la implementación y evaluación de las medidas propuestas, contribuyendo a la prevención de enfermedades laborales y al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

1.3.2.1. Definición de Alcance y Recursos

Alcance de la solución

El presente proyecto tiene como alcance el diseño de un plan de acción orientado al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo frente al riesgo químico asociado a la exposición a hidrocarburos y vapores en el proceso de transporte de

hidrocarburos en Ecopetrol S.A. La intervención se enfoca específicamente en las actividades de cargue, descargue, transferencia y mantenimiento, donde existe mayor probabilidad de exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV).

El proyecto contempla la identificación de peligros, la evaluación del riesgo químico con base en la metodología establecida en la Guía Técnica Colombiana GTC 45 y el diseño de medidas de intervención fundamentadas en la jerarquía de controles. Asimismo, incluye la formulación de un plan de acción que permita fortalecer las medidas de prevención y control dentro del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Es importante precisar que el alcance del proyecto corresponde al diseño de la propuesta de intervención, sin contemplar su implementación directa, constituyéndose en un insumo técnico para la toma de decisiones organizacionales.

Recursos necesarios para la ejecución de la solución

Para el desarrollo del presente proyecto, se requiere la asignación de recursos humanos, técnicos y financieros, necesarios para el diseño de la propuesta de intervención.

Recursos humanos:

Se contará con la participación del estudiante investigador, quien será responsable del desarrollo del proyecto, el docente asesor, encargado de orientar el proceso metodológico, y el profesional de Seguridad y Salud en el Trabajo de la organización, quien aportará información técnica sobre el proceso y las condiciones de trabajo.

Recursos técnicos:

Se utilizarán herramientas como la matriz de identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos basada en la GTC 45, equipos de cómputo, software de procesamiento de información y documentos técnicos relacionados con la gestión del riesgo químico.

Recursos financieros:

El proyecto no requiere inversión directa significativa, dado que se enfoca en el diseño de una propuesta técnica. Sin embargo, se consideran costos asociados a recursos operativos como papelería, acceso a información técnica y materiales de apoyo para el análisis y estructuración del plan de acción.

2. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN UN PROBLEMA AL INTERIOR DE LA ORGANIZACIÓN

En el contexto del sector hidrocarburos colombiano, Ecopetrol S.A. desarrolla actividades estratégicas relacionadas con el transporte de petróleo crudo y sus derivados a través de sistemas de oleoductos, estaciones de bombeo y facilidades logísticas. Estas operaciones se encuentran adscritas al segmento de transporte, el cual es responsable de garantizar la continuidad del flujo de hidrocarburos desde los campos de producción hasta los centros de refinación y distribución. Dentro de este proceso, los trabajadores operativos realizan actividades como inspección de líneas, apertura y cierre de válvulas, mantenimiento de equipos, control de presión y atención de contingencias, las cuales implican contacto directo o indirecto con hidrocarburos líquidos y la exposición a vapores orgánicos volátiles generados durante las operaciones normales y no rutinarias. (ECOPETROL S.A., 2025)

En este contexto, se identifica como problemática relevante la exposición ocupacional de los trabajadores a sustancias peligrosas, particularmente hidrocarburos y sus vapores, lo que constituye un riesgo químico significativo dentro del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Esta situación puede originarse por diversas causas raíz, entre las que se destacan la liberación de vapores durante operaciones de mantenimiento, posibles deficiencias en los sistemas de ventilación, manipulación directa de sustancias sin controles de ingeniería suficientes, y el uso inadecuado o limitado de elementos de protección personal. De acuerdo con la (Organización Internacional del Trabajo, 2019), la exposición a sustancias químicas peligrosas representa una de las principales causas de enfermedades laborales a nivel mundial, especialmente en sectores industriales como el petrolero, donde la exposición puede ser continua, acumulativa y, en muchos casos, imperceptible para el trabajador.

Los efectos derivados de esta problemática incluyen el desarrollo de enfermedades respiratorias, alteraciones neurológicas y otras afecciones crónicas asociadas a la inhalación prolongada de vapores de hidrocarburos. (Kumari P, 2024) ha señalado que, compuestos como el benceno, presentes en los hidrocarburos, tienen efectos tóxicos y carcinogénicos, representando un riesgo significativo para la salud humana en entornos ocupacionales. Desde el punto de vista organizacional, esta situación puede generar impactos negativos en el desempeño del proceso de transporte, tales como el aumento del ausentismo laboral, la

disminución de la productividad, el incremento de los costos asociados a la atención médica y posibles implicaciones legales derivadas del incumplimiento de la normativa en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Adicionalmente, el marco normativo colombiano, a través del Decreto 1072 de 2015 emitido por el Ministerio del Trabajo, establece la obligación de las organizaciones de implementar medidas efectivas para la identificación, evaluación y control de los riesgos laborales, incluyendo aquellos asociados a la exposición a agentes químicos. En este sentido, la persistencia de condiciones que favorecen la exposición a hidrocarburos evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de intervención dentro del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, particularmente en el proceso de transporte, con el fin de prevenir la ocurrencia de enfermedades laborales y garantizar condiciones de trabajo seguras.

En consecuencia, la exposición a hidrocarburos y vapores en el proceso de transporte constituye un problema relevante que afecta no solo la salud y seguridad de los trabajadores, sino también el desempeño operativo y el cumplimiento de los objetivos organizacionales, lo que justifica la necesidad de desarrollar una intervención orientada a la gestión efectiva del riesgo químico en este proceso.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA A INTERVENIR

2.1.1. Misión

ECOPETROL S.A. tiene como misión encontrar y convertir fuentes de energía en valor para sus clientes y accionistas, asegurando la integridad de las personas, la seguridad de los procesos y el cuidado del medio ambiente, contribuyendo al bienestar de las áreas donde opera, con personal comprometido que busca la excelencia, su desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con los grupos de interés.

2.1.2. Visión

ECOPETROL S.A. tiene como visión ser un grupo empresarial enfocado en petróleo, gas, petroquímica y combustibles alternativos, y ser una de las 30 principales compañías de la industria petrolera, reconocida por su posicionamiento internacional, su innovación y compromiso con el desarrollo sostenible.

2.1.3. Mapa de procesos

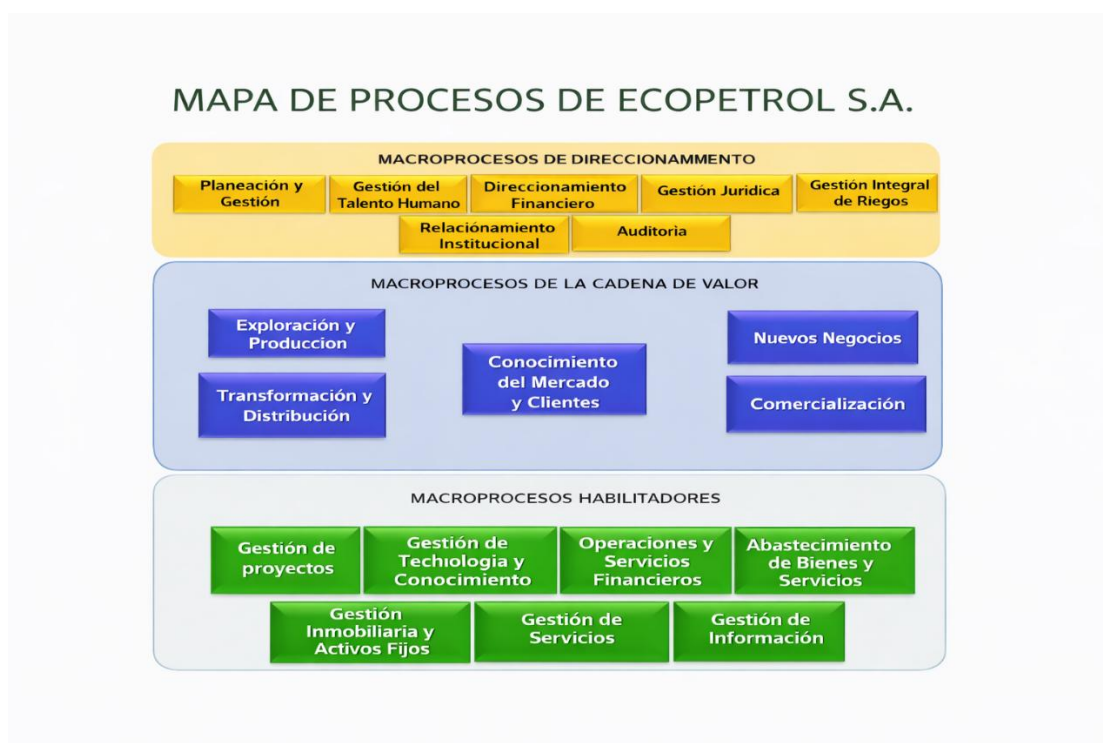


Ilustración 1 Mapa de Procesos ECOPETROL S.A

2.1.4. Descripción del proceso a intervenir

El proceso objeto de intervención corresponde al transporte de hidrocarburos a través de sistemas de oleoductos operados por Ecopetrol S.A., el cual constituye un eslabón fundamental dentro de la cadena de suministro de la industria petrolera en Colombia. Este proceso tiene como propósito asegurar el traslado continuo y eficiente del petróleo crudo desde los campos de producción hasta las refinerías y centros de almacenamiento, permitiendo la transformación y posterior distribución de los productos derivados. Su correcta ejecución resulta esencial no solo para la sostenibilidad operativa de la organización, sino también para la seguridad de los trabajadores y la protección del entorno (ECOPETROL S.A., 2025).

Desde el punto de vista operativo, el proceso inicia en las estaciones de bombeo, donde el crudo es recibido, almacenado temporalmente e impulsado a través de tuberías mediante sistemas electromecánicos diseñados para mantener condiciones específicas de presión, caudal y temperatura. Durante este recorrido, el personal operativo desempeña un papel

fundamental, ya que es responsable de realizar inspecciones periódicas en campo, verificar el estado de válvulas y equipos, ejecutar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, y responder ante posibles anomalías como fugas o variaciones en los parámetros operacionales. Estas labores, aunque rutinarias, implican una interacción directa con el hidrocarburo y con la infraestructura que lo contiene, lo que puede generar la liberación de vapores orgánicos volátiles al ambiente laboral.

En este contexto, es importante reconocer que el petróleo crudo es una mezcla compleja de compuestos químicos, algunos de los cuales, como el benceno, tolueno y xileno, pueden volatilizarse y representar un riesgo para la salud cuando son inhalados de forma repetida o prolongada. La Organización Mundial de la Salud ha señalado que la exposición ocupacional a este tipo de sustancias puede generar efectos adversos en el sistema respiratorio, el sistema nervioso y, en algunos casos, incrementar el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, incluido el cáncer (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2019). En coherencia con ello, la (Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2019) reconoce que los trabajadores del sector petrolero se encuentran dentro de los grupos con mayor exposición a agentes químicos peligrosos, especialmente en actividades relacionadas con el transporte y manejo de hidrocarburos.

Adicionalmente, estas actividades se desarrollan en entornos operativos que pueden presentar condiciones variables, como cambios climáticos, trabajo en campo abierto y exposición prolongada durante jornadas laborales extensas, lo que puede incrementar la vulnerabilidad de los trabajadores frente al riesgo químico. Aunque la organización cuenta con procedimientos operativos y medidas de control en el marco de su Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, la naturaleza misma del proceso hace que la exposición a vapores de hidrocarburos continúe siendo un factor de riesgo relevante que requiere ser gestionado de manera permanente y rigurosa.

En este sentido, el proceso de transporte de hidrocarburos no solo representa una actividad estratégica para la organización, sino también un escenario crítico desde la perspectiva de la Seguridad y Salud en el Trabajo, debido a la posible exposición de los trabajadores a sustancias peligrosas. Por esta razón, su selección como proceso objeto de intervención resulta pertinente, en la medida en que permite enfocar esfuerzos en la identificación, evaluación y

control del riesgo químico, contribuyendo a la protección de la salud de los trabajadores y al fortalecimiento del desempeño organizacional.

2.1.5. Descripción del problema que presenta el proceso

El proceso de transporte de hidrocarburos por oleoducto en Ecopetrol S.A., aunque es esencial para garantizar la continuidad operativa de la cadena de suministro, presenta una problemática relevante asociada a la exposición ocupacional de los trabajadores a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles durante el desarrollo de actividades operativas y de mantenimiento. Esta situación se evidencia principalmente en labores como la apertura y cierre de válvulas, purgas de líneas, inspecciones en campo, mantenimiento de equipos y atención de contingencias, en las cuales pueden liberarse vapores al ambiente laboral, generando un riesgo químico significativo para el personal expuesto.

Esta problemática tiene su origen en diversas causas interrelacionadas. En primer lugar, la naturaleza propia del proceso implica la manipulación directa de sustancias químicas peligrosas, las cuales, debido a sus propiedades fisicoquímicas, pueden volatilizarse fácilmente y ser inhaladas por los trabajadores. Según la (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2019), el petróleo crudo contiene compuestos como el benceno, reconocido por su carácter carcinogénico, cuya exposición prolongada puede generar efectos adversos graves en la salud humana. En segundo lugar, factores operativos como la apertura de sistemas presurizados, la ejecución de mantenimientos correctivos y las posibles fugas operacionales pueden favorecer la liberación de estos vapores, especialmente en ausencia o insuficiencia de controles de ingeniería completamente efectivos. Adicionalmente, aspectos relacionados con el uso inadecuado de elementos de protección personal, la limitada percepción del riesgo o la ausencia de monitoreos ocupacionales frecuentes pueden contribuir a incrementar la probabilidad de exposición.

Los efectos de esta problemática trascienden el ámbito individual y tienen implicaciones tanto en la salud de los trabajadores como en el desempeño organizacional. Desde el punto de vista ocupacional, la exposición a vapores de hidrocarburos ha sido asociada con la aparición de enfermedades respiratorias, alteraciones neurológicas y enfermedades crónicas, lo que puede derivar en incapacidades laborales temporales o permanentes. La (Organización Internacional del Trabajo, 2019) señala que la exposición a sustancias peligrosas constituye una de las principales causas de enfermedades laborales a nivel mundial, afectando la calidad de vida de

los trabajadores y la sostenibilidad de los sistemas productivos. En el contexto organizacional, esta situación puede generar consecuencias como el aumento del ausentismo, la disminución de la productividad, el incremento de los costos asociados a la atención médica y el riesgo de sanciones legales por incumplimiento de la normativa en Seguridad y Salud en el Trabajo.

En el contexto colombiano, el Decreto 1072 de 2015, emitido por el Ministerio del Trabajo, establece la obligación de las organizaciones de identificar, evaluar y controlar los riesgos que puedan afectar la seguridad y salud de los trabajadores. Sin embargo, la persistencia del riesgo químico en el proceso de transporte de hidrocarburos evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de intervención, especialmente en lo relacionado con la evaluación del nivel de exposición y la implementación de controles más efectivos. Esta situación pone de manifiesto una brecha entre las condiciones operativas del proceso y el nivel de protección requerido para garantizar entornos de trabajo completamente seguros.

En consecuencia, la exposición a hidrocarburos y vapores en el proceso de transporte constituye un problema crítico que afecta directamente la salud de los trabajadores y representa un desafío para el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, lo que hace necesaria la implementación de medidas orientadas a su adecuada gestión, control y prevención, en coherencia con los principios de protección del trabajador y mejora continua establecidos en la normativa vigente.

3. ESTABLECIMIENTO DE PLANES DE ACCIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Con el propósito de mitigar la exposición ocupacional a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles identificada en el proceso de transporte de crudo, se establece un plan de acción integral orientado al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en Ecopetrol S.A. Este plan se fundamenta en los principios de prevención, mejora continua y control del riesgo establecidos en el Decreto 1072 de 2015 y en estándares internacionales como la norma ISO 45001:2018, los cuales promueven la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y la implementación de medidas de control bajo un enfoque sistemático (Ministerio de Trabajo, 2015).

En primer lugar, se plantea como acción prioritaria la identificación y evaluación del nivel de exposición al riesgo químico, mediante la aplicación de metodologías reconocidas como la Guía Técnica Colombiana GTC-45 y la realización de monitoreos ocupacionales ambientales. Esta actividad permitirá determinar la concentración de vapores presentes en el ambiente laboral y establecer el nivel real de riesgo al que se encuentran expuestos los trabajadores. De acuerdo con la (Organización Internacional del Trabajo, 2019), la evaluación sistemática de los riesgos constituye el primer paso para el diseño de estrategias efectivas de prevención, ya que proporciona información objetiva para la toma de decisiones.

En segundo lugar, se propone el fortalecimiento de los controles de ingeniería y administrativos, orientados a reducir la liberación y exposición a vapores de hidrocarburos. Estas medidas incluyen la optimización de los sistemas de ventilación en áreas críticas, el mantenimiento preventivo de válvulas y equipos, la implementación de procedimientos operativos seguros y el fortalecimiento de los programas de capacitación en riesgo químico. Estas acciones buscan intervenir el riesgo desde su fuente, lo cual representa el nivel más efectivo de control según la jerarquía de controles establecida en la gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Como tercera acción, se plantea el fortalecimiento del programa de protección personal y vigilancia epidemiológica, mediante la verificación del uso adecuado de elementos de protección respiratoria, la realización de evaluaciones médicas ocupacionales periódicas y el seguimiento al estado de salud de los trabajadores expuestos. Esta estrategia permitirá identificar de manera temprana posibles efectos en la salud derivados de la exposición y establecer medidas preventivas oportunas.

Finalmente, se propone la implementación de un sistema de seguimiento y evaluación del plan de acción, mediante indicadores de gestión que permitan medir su efectividad, tales como niveles de exposición, cumplimiento de controles, número de trabajadores capacitados y reducción de incidentes asociados al riesgo químico. Este seguimiento permitirá garantizar la mejora continua del proceso y asegurar la sostenibilidad de las acciones implementadas.

En conjunto, estas acciones permitirán intervenir de manera estructurada la problemática identificada, contribuyendo a la protección de la salud de los trabajadores, al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y al mejoramiento del desempeño organizacional.

3.1. ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS

Diseñar un plan de acción orientado al control del riesgo químico por exposición a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo en Ecopetrol S.A., mediante la identificación y evaluación de las condiciones de exposición y la formulación de medidas de intervención, con el fin de fortalecer el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y contribuir a la prevención de enfermedades laborales.

Objetivos específicos

- Identificar las fuentes generadoras de exposición a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo, mediante el análisis de las actividades operativas, las condiciones de trabajo y los controles existentes.
- Evaluar el nivel de riesgo químico al que se encuentran expuestos los trabajadores, mediante la aplicación de la metodología establecida en la Guía Técnica Colombiana GTC-45, con el fin de determinar su nivel de criticidad.
- Formular medidas de intervención basadas en la jerarquía de controles, orientadas al control del riesgo químico y al fortalecimiento de las condiciones de trabajo seguras.
- Estructurar el plan de acción que incluya actividades, responsables, recursos e indicadores de seguimiento, orientado al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Con el fin de dar respuesta a la problemática identificada relacionada con la exposición ocupacional a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo, se propone el diseño e implementación de un plan de acción integral enfocado en el fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en Ecopetrol S.A. Esta solución se fundamenta en el principio de prevención establecido en la normativa colombiana y en la jerarquía de controles, priorizando la intervención en la fuente generadora del riesgo, el medio de transmisión y, finalmente, el trabajador, como lo establece el Ministerio del Trabajo mediante el Decreto 1072 de 2015.

La solución propuesta inicia con la identificación detallada de las fuentes de generación de vapores de hidrocarburos dentro del proceso de transporte, a través del análisis de las actividades operativas, inspecciones en campo y revisión de los controles existentes. Posteriormente, se plantea la evaluación del nivel de exposición al riesgo químico mediante la aplicación de metodologías reconocidas como la Guía Técnica Colombiana GTC-45 y la realización de monitoreos ocupacionales, lo cual permitirá determinar el nivel de riesgo real y establecer prioridades de intervención. Esta etapa es fundamental, ya que proporciona información técnica objetiva que permite orientar la toma de decisiones y diseñar estrategias de control más efectivas.

Con base en los resultados obtenidos, se propone la implementación de medidas de control orientadas a reducir la exposición de los trabajadores. Estas medidas incluyen el fortalecimiento de los controles de ingeniería, como el mantenimiento preventivo de equipos y sistemas que puedan generar liberación de vapores, la optimización de los procedimientos operativos y el fortalecimiento de los controles administrativos mediante programas de capacitación y sensibilización frente al riesgo químico. Asimismo, se plantea el fortalecimiento del uso adecuado de los elementos de protección personal, especialmente los equipos de protección respiratoria, como una medida complementaria de protección para el trabajador.

Finalmente, la solución contempla el establecimiento de un sistema de seguimiento y evaluación que permita verificar la efectividad de las medidas implementadas, mediante el uso de indicadores de gestión, inspecciones periódicas y el seguimiento a las condiciones de salud de los trabajadores expuestos. De acuerdo con la (Organización Internacional del Trabajo, 2019), el seguimiento continuo es un elemento esencial en la gestión del riesgo, ya que permite garantizar la mejora continua y la sostenibilidad de las acciones implementadas.

En este sentido, la solución propuesta no solo busca reducir la exposición a hidrocarburos y vapores, sino también fortalecer la cultura de prevención dentro de la organización, contribuyendo a la protección de la salud de los trabajadores, al cumplimiento de la normativa vigente y al mejoramiento del desempeño del proceso de transporte.

La solución propuesta se fundamenta en los principios de la jerarquía de controles establecida en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, priorizando medidas de control en la fuente, el medio y el trabajador, con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia de

efectos adversos en la salud y mejorar las condiciones de trabajo en el proceso de transporte de crudo.

3.3. SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA EJECUCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Con el propósito de implementar de manera efectiva la solución planteada frente a la exposición ocupacional a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo de Ecopetrol S.A., se establece la siguiente secuencia de actividades, estructurada bajo un enfoque sistemático y coherente con los lineamientos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo definidos por el decreto 1072 de 2015. Esta secuencia permite abordar el problema desde su diagnóstico hasta el seguimiento de las medidas implementadas, garantizando la mejora continua del proceso.

Fase 1. Diagnóstico del riesgo químico

La primera fase corresponde al diagnóstico inicial, en el cual se realizará la identificación de las actividades críticas que generan exposición a vapores de hidrocarburos. Para ello, se llevará a cabo la revisión de los procedimientos operativos, inspecciones en campo y la aplicación de metodologías como la Guía Técnica Colombiana GTC-45, con el fin de identificar peligros, evaluar riesgos y determinar los niveles de exposición existentes. Esta etapa permitirá establecer una línea base que facilite la priorización de las acciones de intervención.

Fase 2. Evaluación y análisis del riesgo

Una vez identificados los peligros, se procederá a evaluar el nivel de riesgo químico mediante el análisis de las condiciones de trabajo, los controles existentes y la posible realización de monitoreos ocupacionales. Esta actividad permitirá determinar la magnitud del riesgo y establecer criterios técnicos para la selección de las medidas de intervención más adecuadas. De acuerdo con la (Organización Internacional del Trabajo, 2019), la evaluación del riesgo constituye una herramienta fundamental para la prevención de enfermedades laborales asociadas a la exposición a sustancias peligrosas.

Fase 3. Diseño e implementación de medidas de control

Con base en los resultados obtenidos, se procederá al diseño e implementación de medidas de control orientadas a reducir la exposición de los trabajadores. Estas medidas incluirán el fortalecimiento de controles de ingeniería, la actualización de procedimientos operativos, la

capacitación del personal expuesto y el fortalecimiento del uso de elementos de protección personal. Esta fase busca intervenir el riesgo desde la fuente, el medio y el trabajador, conforme a la jerarquía de controles establecida en la gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Fase 4. Capacitación y sensibilización del personal

Posteriormente, se desarrollarán actividades de capacitación dirigidas a los trabajadores, con el fin de fortalecer el conocimiento sobre el riesgo químico, sus efectos en la salud y las medidas de prevención. Esta actividad contribuirá a fortalecer la cultura de autocuidado y la percepción del riesgo, favoreciendo la adopción de prácticas seguras durante el desarrollo de las actividades operativas.

Fase 5. Seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas

Finalmente, se realizará el seguimiento y evaluación de las medidas implementadas, mediante inspecciones periódicas, revisión del cumplimiento de los controles y el análisis de indicadores de gestión. Esta etapa permitirá verificar la efectividad de la intervención y establecer acciones de mejora continua, contribuyendo al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y a la protección de la salud de los trabajadores.

3.4. DESCRIPCIÓN DE RECURSOS NECESARIOS PARA LA EJECUCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La ejecución del plan de acción orientado a la prevención y control de la exposición a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo de Ecopetrol S.A. requiere la asignación de recursos humanos, técnicos, administrativos y financieros, los cuales son fundamentales para garantizar la implementación efectiva de las medidas propuestas y el fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Estos recursos permiten asegurar el cumplimiento de los lineamientos establecidos en la normativa vigente, particularmente el Decreto 1072 de 2015, emitido por el Ministerio del Trabajo, el cual establece la obligación de las organizaciones de destinar los recursos necesarios para la gestión de los riesgos laborales.

Recursos humanos

Para la ejecución de la solución, se requiere la participación de personal calificado, entre los cuales se encuentran el profesional responsable del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, quien liderará el proceso de identificación, evaluación y control del riesgo químico; el personal operativo del proceso de transporte, quienes participarán en las actividades de diagnóstico, capacitación e implementación de las medidas de control; y el personal directivo, quienes garantizarán el apoyo institucional y la asignación de los recursos necesarios. Asimismo, se podrá requerir el apoyo de profesionales especializados en higiene ocupacional, quienes aportarán conocimiento técnico en la evaluación de la exposición a sustancias químicas.

Recursos técnicos

Los recursos técnicos incluyen los equipos e instrumentos necesarios para la identificación y control del riesgo químico, tales como equipos de monitoreo de gases y vapores, formatos de inspección, matrices de identificación de peligros y evaluación de riesgos, y elementos de protección personal, especialmente equipos de protección respiratoria adecuados para la exposición a vapores orgánicos. Estos recursos permiten obtener información confiable sobre las condiciones de exposición y garantizar la protección de los trabajadores durante el desarrollo de sus actividades.

Recursos administrativos

Dentro de los recursos administrativos se incluyen los procedimientos, protocolos y registros necesarios para la implementación y seguimiento del plan de acción. Esto comprende la documentación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, los programas de capacitación, los registros de inspección, los informes de evaluación del riesgo y los indicadores de seguimiento. Estos elementos son fundamentales para asegurar la trazabilidad del proceso y facilitar la toma de decisiones orientadas a la mejora continua.

Recursos financieros

La implementación de la solución requiere la asignación de recursos financieros destinados a cubrir los costos asociados a la adquisición de equipos de monitoreo, elementos de protección personal, capacitación del personal y demás actividades necesarias para el control del riesgo. La inversión en estos recursos constituye una medida preventiva que contribuye a la protección de la salud de los trabajadores y a la reducción de costos asociados a enfermedades

laborales, ausentismo y posibles sanciones legales, lo cual se alinea con los principios de prevención establecidos por la (Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2019).

En este sentido, la adecuada asignación y gestión de los recursos necesarios constituye un factor determinante para garantizar la efectividad del plan de acción propuesto, contribuyendo al fortalecimiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, la protección de los trabajadores y el mejoramiento del desempeño organizacional.

4. DEFINICIÓN DEL ALCANCE DE LA SOLUCIÓN, PARTES INTERESADAS, CRONOGRAMA Y PRESUPUESTOS.

4.1. ALCANCE FINAL DE LA SOLUCIÓN

El alcance de la solución propuesta se orienta al diseño estructurado de un plan de acción para el control del riesgo químico asociado a la exposición ocupacional a hidrocarburos y vapores orgánicos volátiles en el proceso de transporte de crudo de Ecopetrol S.A.

La intervención está enfocada en las actividades del proceso de transporte donde existe mayor riesgo de exposición a vapores de hidrocarburos, especialmente durante tareas como cargue, descargue, mantenimiento e inspecciones, teniendo en cuenta que en esas labores hay mayor probabilidad de liberación de compuestos orgánicos volátiles y, por ende, mayor nivel de exposición para los trabajadores.

Es importante aclarar que este proyecto consiste en el diseño del plan de acción y no en su implementación directa. La propuesta se entrega como una herramienta técnica que puede ser utilizada por la empresa para fortalecer su Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y tomar decisiones orientadas a la prevención del riesgo químico.

Los objetivos específicos de esta intervención comprenden la actualización de la identificación y evaluación del riesgo químico mediante la aplicación de la metodología GTC-45, la definición de medidas de intervención basadas en la jerarquía de controles (intervención en la fuente, en el medio y en el trabajador), la estructuración de un cronograma de ejecución con

responsables claramente definidos y el establecimiento de indicadores de seguimiento que permitan evaluar la efectividad de las acciones propuestas.

Como resultados esperados, se proyecta la disminución del nivel de riesgo químico identificado en el proceso de transporte, el fortalecimiento de los controles existentes, el mejoramiento de la gestión preventiva frente a la exposición a hidrocarburos y la reducción del riesgo de enfermedades laborales asociadas a agentes químicos. De esta manera, el alcance definido permite delimitar con claridad el campo de acción del proyecto, garantizar coherencia metodológica y promover una intervención viable, técnica y alineada con la normativa vigente en Seguridad y Salud en el Trabajo.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE RESPONSABLES DE LAS ACTIVIDADES PARA EJECUCIÓN

La adecuada implementación del plan de acción requiere la identificación clara de las partes interesadas y la asignación precisa de responsabilidades, con el fin de asegurar una ejecución coordinada, eficiente y alineada con los principios de mejora continua del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. En este contexto, se identifican como partes interesadas clave la Alta Dirección, el área de Seguridad y Salud en el Trabajo, los supervisores del proceso de transporte, el personal operativo expuesto, el área de mantenimiento y el Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo (COPASST), quienes cumplen un rol fundamental en la gestión y control del riesgo químico.

La Alta Dirección es responsable de garantizar la asignación de recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para la implementación del plan, así como de respaldar institucionalmente las decisiones derivadas del diagnóstico.

El profesional líder del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo asumirá la coordinación técnica del proyecto, siendo responsable de la actualización de la matriz de identificación de peligros, la evaluación del riesgo químico, la formulación de medidas de control y el seguimiento de indicadores.

Por otro lado, los supervisores del proceso de transporte facilitarán el acceso a la información operativa, coordinarán las inspecciones en campo y velarán por el cumplimiento de los procedimientos establecidos.

El área de mantenimiento tendrá la responsabilidad de ejecutar los controles de ingeniería propuestos, tales como ajustes en sistemas que puedan generar liberación de vapores o mejoras técnicas en los equipos.

Por último, el COPASST participará como instancia de apoyo en la verificación del cumplimiento de las medidas y en la promoción de la cultura preventiva entre los trabajadores. Finalmente, el personal operativo desempeñará un papel activo en la adopción de las medidas de control y en el uso adecuado de los elementos de protección personal.

La definición clara de estos roles permite evitar re procesos, falta de claridad en funciones asignadas, fortalecer la corresponsabilidad en la gestión del riesgo y asegurar que cada fase del plan cuente con un líder responsable de su ejecución garantizando su cumplimiento y el trabajo de manera conjunta orientado a la protección integral de la salud de los trabajadores.

Tabla 1. Asignación de responsabilidades

Actividad	Responsable Principal	Apoyo
Actualización matriz GTC-45	Profesional SST	COPASST
Inspecciones y diagnóstico en campo	Supervisor de Transporte	Profesional SST
Monitoreo ocupacional de vapores	Higienista Ocupacional	SST
Diseño de medidas de control	Profesional SST	Mantenimiento
Implementación de controles de ingeniería	Área de Mantenimiento	Supervisores
Capacitación en riesgo químico	Profesional SST	Talento Humano
Seguimiento e indicadores	Profesional SST	Alta Dirección

4.3. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Con el propósito de organizar las actividades propuestas y facilitar su seguimiento, se formula el siguiente cronograma de trabajo, el cual se desarrollará en un plazo estimado de nueve meses. En este se definen las actividades a desarrollar los tiempos previstos para cada una de ellas, lo que permitirá evaluar el avance y cumplimiento de los objetivos propuestos. Además del seguimiento continuo.

Tabla 2. Cronograma de actividades.

[illegible]

4.4. PRESUPUESTO

La implementación del plan de acción para el control del riesgo químico requiere una inversión estratégica que garantice la protección de la salud de los trabajadores y el cumplimiento normativo. Se estima un presupuesto total distribuido en los siguientes rubros operativos y técnicos

Tabla 3. Presupuesto.

Rubro	Valor
Actualización matriz y diagnóstico técnico	\$3.000.000
Monitoreo ocupacional (mediciones ambientales)	\$12.000.000
Equipos de monitoreo portátil	\$18.000.000
Elementos de protección respiratoria especializados	\$10.000.000
Capacitación en riesgo químico	\$5.000.000
Materiales y documentación	\$2.000.000
Seguimiento y evaluación	\$3.000.000

5. PROPUESTA INNOVADORA COMO VALOR AGREGADO DEL PROYECTO

5.1. SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO PREDICTIVO DE EXPOSICIÓN A VAPORES (SIMPEV)

Como valor agregado del presente proyecto, se propone el diseño conceptual de un Sistema Inteligente de Monitoreo Predictivo de Exposición a Vapores (SIMPEV), orientado a transformar la gestión tradicional del riesgo químico hacia un modelo preventivo basado en

datos, tecnología y analítica predictiva, aplicable al proceso de transporte de crudo en Ecopetrol S.A.

Aunque el plan de acción planteado fortalece la identificación, evaluación y control del riesgo mediante la metodología GTC-45 y la jerarquía de controles, la gestión actual continúa siendo predominantemente reactiva y basada en mediciones periódicas. Esta condición limita la detección temprana de variaciones críticas en la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) durante actividades operativas.

En coherencia con los principios de mejora continua establecidos en la norma ISO 45001, la presente propuesta plantea evolucionar hacia un sistema dinámico de vigilancia técnica en tiempo real.

Descripción del Modelo Propuesto

El SIMPEV se estructura en cuatro componentes estratégicos:

1. Sensores de monitoreo continuo de COV

Instalación de dispositivos fijos en puntos críticos del proceso (válvulas, estaciones de bombeo, áreas de mantenimiento) y dispositivos portátiles para trabajadores expuestos.

2. Plataforma digital de gestión de datos

Integración de los registros en una base de datos centralizada que permita:

- Visualización en tiempo real.
- Generación automática de reportes.
- Trazabilidad histórica de exposiciones.

3. Sistema de alertas tempranas

Activación de notificaciones cuando se superen umbrales permisibles establecidos por normativa nacional e internacional.

4. Módulo de análisis predictivo

Uso de analítica avanzada para identificar patrones de exposición, actividades críticas y tendencias acumulativas que puedan representar riesgo de enfermedad laboral.

Enfoque Estratégico-Gerencial

Desde una perspectiva estratégica, esta propuesta permite:

- Transitar de un modelo reactivo a uno predictivo.
- Integrar la transformación digital al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Convertir los datos de exposición en indicadores estratégicos de desempeño.
- Optimizar la toma de decisiones basada en evidencia técnica.
- Reducir costos asociados a incapacidades, litigios y ausentismo.

El SIMPEV no solo fortalece la prevención, sino que posiciona a la organización como referente en gestión avanzada del riesgo químico en el sector hidrocarburos.

Proyección y Escalabilidad

El sistema puede evolucionar hacia:

- Integración con inteligencia artificial.
- Modelos de predicción de exposición acumulativa.
- Cruce de variables operativas y ambientales.
- Automatización de protocolos de respuesta.

Esta propuesta constituye la puerta de entrada para la futura implementación tecnológica del proyecto, consolidándolo como una iniciativa innovadora y sostenible.

5.2. PROPUESTA ALTERNATIVA: MODELO DE CULTURA PREVENTIVA Y LIDERAZGO EN RIESGO QUÍMICO (MCL-RQ)

Como alternativa complementaria o sustituta, se propone la implementación de un Modelo de Cultura Preventiva y Liderazgo en Riesgo Químico, orientado a fortalecer la percepción del riesgo, el liderazgo visible y la corresponsabilidad en la gestión del riesgo químico dentro del proceso de transporte.

Si bien los controles técnicos son fundamentales, la evidencia demuestra que la efectividad de las medidas depende en gran medida del comportamiento humano y del compromiso organizacional.

Componentes del Modelo

1. Programa de Liderazgo Visible en SST

Participación activa de supervisores y alta dirección en inspecciones y conversaciones de seguridad enfocadas en riesgo químico.

2. Escuela Interna de Riesgo Químico

Formación especializada para trabajadores expuestos, con enfoque práctico y casos reales.

3. Indicadores de Cultura Preventiva

Medición periódica de percepción del riesgo, cumplimiento de controles y reporte de condiciones inseguras.

4. Sistema de Reporte Proactivo

Incentivos para la identificación temprana de fugas, fallas técnicas o situaciones de exposición.

Enfoque Estratégico

Este modelo:

- Fortalece el compromiso organizacional.
- Reduce la normalización del riesgo.
- Incrementa la sostenibilidad de los controles.
- Mejora la reputación corporativa en gestión preventiva.

Se fundamenta en el principio de participación activa promovido por la Organización Internacional del Trabajo y en el enfoque de liderazgo organizacional contemplado en ISO 45001.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ECOPETROL S.A. (10 de Diciembre de 2025). *Informes de Gestión y SosTECnibilida*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/Inversionistas/informeannual>
- ICONTEC. (20 de Junio de 2012). *GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y LA VALORACIÓN DE LOS RIESGOS EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://132.255.23.82/sipnvo/normatividad/GTC_45_DE_2012.pdf
- International Agency for Research on Cancer. (17 de Octubre de 2018). *Benceno Monografías del IARC sobre la evaluación de los riesgos carcinogénicos para los seres humanos, volumen 120*. Obtenido de <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Benzene-2018>
- ISO. (6 de Junio de 2018). *Sistemas de administración/gestión en seguridad y salud ocupacional— Requerimientos con guías para uso*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.teczamora.mx/sgi/documentos/sgi/normas/Norma_ISO_45001_2018.pdf
- Kirkeleit J, Riise T, Bråtveit M, Moen BE. (19 de Febrero de 2008). *Increased risk of acute myelogenous leukemia and multiple myeloma in a historical cohort of upstream petroleum workers exposed to crude oil. Cancer Causes Control*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17906934/>
- Kumari P, S. D. (2 de Junio de 2024). *Benzene: A critical review on measurement methodology, certified reference material, exposure limits with its impact on human health and mitigation strategies*. Obtenido de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11294662/>
- Ministerio de Trabajo. (26 de Mayo de 2015). *Decreto 1072 de 2015 Sector Trabajo*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>
- Occupational Safety and Health Administration. (02 de Enero de 2023). *Identifying Hazard Control Options: The Hierarchy of Controls*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.osha.gov/sites/default/files/Hierarchy_of_Controls_02.01.23_form_508_2.pdf

Occupational Safety and Health Administration. (s.f.). *Benzene*. Obtenido de <https://www.osha.gov/benzene/hazards>

Organización Internacional del Trabajo (OIT). (14 de Abril de 2019). *SEGURIDAD Y SALUD EN EL CENTRO DEL FUTURO DEL TRABAJO*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/documents/publication/wcms_686762.pdf

Organización Internacional del Trabajo. (2019). *Seguridad y salud en el trabajo*. Obtenido de <https://www.ilo.org/es/temas-y-sectores/seguridad-y-salud-en-el-trabajo>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (1 de Mayo de 2019). *Exposición al benceno: un importante problema de salud pública*. Obtenido de <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.2>

Vlaanderen J, Portengen L, Rothman N, Lan Q, Kromhout H, Vermeulen R. (Abril de 2010). *Flexible meta-regression to assess the shape of the benzene-leukemia exposure-response curve*. *Environ Health Perspect*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20064779/>