

Análisis de oportunidades en la reducción de Gases de Efecto Invernadero en la industria petrolera colombiana en el marco del Acuerdo de París

Mery Gabriela Giraldo Cuellar y Paula Andrea León Castellanos

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero de Petróleos

Director

Harving Díaz Consuegra

Ingeniero de Petróleos y Especialista en Ingeniería Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Le dedico este trabajo principalmente a Dios quien me dio la sabiduría para abordar mi carrera y este proyecto, la capacidad para encontrar la calma cuando más lo necesitaba, quien me rodeo de las personas idóneas para escucharme, guiarme, asesorarme y aconsejarme, por proveerme de las habilidades necesarias para cumplir con todo y por todas las infinitas bendiciones que me ha dado en el transcurso de la vida universitaria.

A mi familia por su infinito amor, comprensión y apoyo durante todos estos años de estudio.

A mis amigos quienes cada día enriquecen mi vida con su amor y compañía.

A mi compañera y director de tesis a quienes con dedicación y compromiso han contribuido a la realización de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de ingeniería de Petróleos quienes me abrieron las puertas para formarme y gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso.

A SPE UIS por ser la familia que la universidad me regalo y me permitió fortalecer mi perfil profesional y personal.

Mery G. Giraldo C.

Dedicatoria

Quiero dedicarle este trabajo de grado y toda mi carrera principalmente a Dios, quien me ilumino con sabiduría e inteligencia para superar todas las dificultades y me trajo hasta donde estoy.

A mis padres quienes me apoyaron infinitamente desde el momento en que decidí estudiar esta carrera y con mucho esfuerzo me ayudaron a cumplir mi sueño.

A mi hermano a quien siempre quiero demostrarle que todo lo que uno quiere se logra, si se trabaja por ello y busco ser su mejor ejemplo.

A mi abuelita quien es la más alcahueta y me acompaño siempre a cumplir mi sueño, me dio aliento y confió en mí.

A mi abuelito quien siempre me dio palabras de apoyo diciendo que podía lograr lo que me propusiera y sintiéndose constantemente orgulloso de su nieta mayor.

A mi mejor amiga Laura, quien estuvo junto a mí siempre dándome su apoyo y amistad incondicional.

A las mejores amigas que me pudo dejar la universidad Sara y Vanesa quienes están conmigo desde primer semestre y vivieron estos cinco años junto a mí.

A Mery mi compañera de tesis y amiga con la cual he compartido muchos momentos y aventuras a lo largo de estos años.

A la familia SPE UIS, por todas las valiosas experiencias y lindas personas que llegue a conocer.

Paula Andrea León Castellanos

Agradecimientos

Las autoras expresan sus más sinceros agradecimientos a:

A Dios por ser nuestra guía a través de tantos años.

A nuestras familias por su apoyo incondicional.

Al ingeniero Harving Diaz Consuegra por la confianza y su constante apoyo en el desarrollo de este proyecto de grado.

A la universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos por abrirnos las puertas y permitir formarnos en esta carrera.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Generalidades	16
2.1 Cambio Climático	16
2.2 Calentamiento global	17
2.3 Gases de efecto invernadero.....	17
2.4 GEI directos	18
2.5 GEI indirectos	18
2.6 Dióxido de carbono (CO ₂)	18
2.7 Metano (CH ₄).....	19
2.8 Óxido Nitroso (N ₂ O).....	19
2.9 Ozono Troposférico (O ₃)	19
2.10 Vapor de agua (H ₂ O)	20
2.11 Mitigación	20
2.12 Adaptación al cambio climático.....	21
2.13 IPCC	21
2.14 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático	21
2.15 COP	22

2.16	Protocolo de Kyoto	22
2.17	Países Anexo I.....	22
2.18	Países Anexo II	23
2.19	Países No Anexo I.....	23
2.20	Acuerdo de París	23
2.21	Hidrocarburos.....	23
2.22	Upstream	24
2.23	Downstream	24
3.	Marco legal.....	24
4.	Actividades que generan emisiones de GEI en la industria de los hidrocarburos	25
4.1	Petróleo	26
4.1.1	Venteo Operativo.....	26
4.1.2	Venteo.....	26
4.1.3	Venteo de seguridad	27
4.1.4	Quema de gas en tea	27
4.1.5	Quema de seguridad	28
4.1.6	Emisiones fugitivas.....	28
4.1.7	Combustión.....	28
4.2	Gas natural	29
4.2.1	Emisiones durante el transporte de gas natural.....	29
4.2.1.1	Emisiones por combustión	29
4.2.1.2	Emisiones fugitivas	30
4.2.1.3	Emisiones por venteos operacionales.....	30

4.2.2	Emisiones en el sistema de recolección.....	31
5.	Análisis de los casos de éxito en acciones para mitigar emisiones de GEI generadas por la industria O&G que se están implementando a nivel mundial.....	32
5.1	Cámaras infrarrojas	33
5.1.1	Aplicación de un programa LDAR.....	35
5.1.2	Empresas que utilizan tecnología de cámaras infrarrojas.....	36
5.1.2.1	Shell.....	36
5.1.2.2	Encana	37
5.1.2.3	ConocoPhillips	38
5.2	Inventario	39
5.2.1	Pasos para identificar y calcular emisiones de GEI.....	40
5.2.1.1	Identificar fuentes.....	41
5.2.1.2	Selección de un método de cálculo	43
5.2.1.3	Recolectar datos de actividades y elegir factores de emisión	43
5.2.1.4	Aplicar herramienta de cálculo.....	43
5.2.1.5	Enviar los datos de emisiones de GEI a nivel corporativo.....	44
5.2.2	Empresas que utilizaron inventarios de GEI	44
5.2.2.1	Petrochina.....	44
5.2.2.2	Chevron	46
5.3	Programa de personal para reducir la huella de carbono	47
5.3.1	Programa “My Advancing Low Carbon” (ALC) – por British Petroleum (BP).....	48
5.3.1.1	Pasos para incluir una nueva actividad en el programa (ALC).....	51
5.3.1.2	Criterios y principios generales del programa.....	52

5.4	Drones	53
5.4.1	Propuesta de la empresa para reducción de quema de gas	53
5.4.1.1	BP – Monitoreo de las actividades con drones.....	53
5.5	Exxon Mobil – Captura y almacenamiento de dióxido de carbono	54
6.	Evaluación de la aplicabilidad de los casos estudiados de la industria petrolera.....	55
6.1	Lineamientos de gestión para aplicar los casos propuestos	60
7.	Identificación del impacto positivo que podría generar la aplicación de estas acciones en la industria petrolera colombiana.....	62
7.1	Beneficio Drones.....	63
7.1.1	Económico	63
7.1.2	Seguridad física	63
7.1.3	Ambiental	63
7.2	Beneficio Cámaras Infrarrojas	64
7.2.1	Económico	64
7.2.2	Seguridad física	64
7.2.3	Ambiental	64
7.3	Beneficio Inventario.....	64
7.3.1	Económico	64
7.3.2	Seguridad física	65
7.3.3	Ambiental	65
7.4	Beneficio Programa Personal.....	65
7.4.1	Económico	65
7.4.2	Seguridad física	65

7.4.3	Ambiental	66
7.5	Beneficio Almacenamiento y Captura de Dióxido de Carbono.....	66
7.5.1	Económico	66
7.5.2	Seguridad física	66
7.5.3	Ambiental	66
8.	Aplicación de la norma internacional ISO 26000	68
9.	Conclusiones	71
10.	Recomendaciones.....	73
	Referencias bibliográficas.....	74

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Marco Legal.....	25
Tabla 2. Acciones a tomar por el modelo de la triple hélice.....	61
Tabla 3. Mitigación y adaptación del Cambio Climático de acuerdo a las propuestas	69

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Emisiones del petróleo o gas	32
Figura 2. Pasos para calcular las emisiones de GEI.....	41
Figura 3. Alcances en el sector de Petróleo y Gas	42
Figura 4. Sistemas principales de control de emisiones GEI.....	45
Figura 5. Los cuatro mecanismos de control de emisión GEI	45
Figura 6. Información propuesta de Monitoreo de actividades con drones	56
Figura 7. Información propuesta de cámaras infrarrojas	56
Figura 8. Información propuesta de inventario.....	57
Figura 9. Información propuesta de programa/personal	57
Figura 10. Información propuesta de almacenamiento y captura de CO2.....	58
Figura 11. Resultado del análisis de cada propuesta estudiada	59
Figura 12. Esquema de acciones por propuesta para atacar las fuentes de emisiones de GEI	67

Resumen

Título: Análisis de oportunidades en la reducción de Gases de Efecto Invernadero en la industria petrolera colombiana en el marco del Acuerdo de París*

Autor: Mery Gabriela Giraldo Cuellar y Paula Andrea León Castellanos**

Palabras Clave: Cambio climático, Gases de Efecto Invernadero, industria petrolera, Acuerdo de París, reducción de emisiones.

Descripción

El cambio climático es un tema de gran relevancia actualmente a nivel mundial, aunque Colombia solo aporta el 0,46% de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero es importante tomar medidas que mitiguen la emisión de estos gases al medio ambiente. Por esto, se adopta el compromiso adquirido en el Acuerdo de París en 2015 durante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Por lo cual todos los sectores del país incluyendo el del petróleo y gas están dispuestos a contribuir en la mitigación y control de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero para cumplir el compromiso del país logrando reducir el 20% de las emisiones totales para el año 2030.

Se analizaron acciones de éxito en la mitigación de los gases de efecto invernadero en empresas de la industria petrolera a nivel mundial, logrando recopilar las acciones más convenientes y a su vez, evaluando la aplicabilidad a la industria petrolera colombiana con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que aporta este sector al país. Así, se encontraron cuatro programas como posibles iniciativas a desarrollar en las empresas de la industria petrolera colombiana con el objetivo de generar un impacto positivo y lograr disminuir el 22,2% de las emisiones que aporta este sector al país e igualmente contribuyendo al compromiso adquirido en el Acuerdo de París.

* Proyecto de grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Harving Díaz Consuegra.

Abstract

Title: Analysis of opportunities in the reduction of greenhouse gases in the Colombian oil industry under the Paris Agreement*

Author: Mery Gabriela Giraldo Cuellar and Paula Andrea León Castellanos**

Keywords: Climate change, greenhouse gases, oil and Gas industry, Paris Agreement, emissions mitigation.

Description

Climate change is currently a major issue globally, although Colombia contributes only 0.46% of global greenhouse gas emissions, it is important to take measures to mitigate the emission of these gases to the environment. For this reason, the commitment made in the Paris Agreement in 2015 was adopted during the United Nations Framework Convention on Climate Change. So, all sectors of the country including oil and gas are willing to contribute to the mitigation and control of their Greenhouse Gas emissions to meet the country's commitment to reduce 20% of total emissions by 2030.

Successful actions in greenhouse gas mitigation were analyzed in companies in the oil industry worldwide, managing to collect the most convenient actions and in turn, assessing the applicability to the Colombian oil industry to reduce the greenhouse gas emissions that this sector brings to the country. Thus, four programs were found as possible initiatives to be developed in Colombian oil companies with the aim of generating a positive impact and reducing 22.2% of the emissions that this sector brings to the country and contributing to the commitment made in the Paris Agreement.

* Degree Project

** Industrial University of Santander. Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Harving Díaz Consuegra.

Introducción

En la actualidad, uno de los fenómenos de mayor relevancia a nivel mundial es el cambio climático, éste se da por el aumento de la temperatura del planeta provocado por las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero, estos gases en proporción adecuada logran cumplir las condiciones necesarias para mantener la vida en el planeta. Sin embargo, el aumento de las emisiones por las diferentes actividades del ser humano causa el incremento de la temperatura media produciendo así el calentamiento global.

En pro de mitigar el cambio climático a nivel mundial se organizó el acuerdo de París, un tratado internacional que se adoptó en 2015 durante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en el cual todos los países de forma autónoma determinaron cuál sería su contribución al esfuerzo global en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Así, Colombia se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones para el año 2030 y de tener cooperación internacional llegar a reducir el 30% (García et al., 2016).

En Colombia se contribuye con el 0,46% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, aun cuando esta cifra es baja, se calcula que si no se toman las medidas necesarias se puede aumentar cerca de 50% en el año 2030 (García et al., 2016). De acuerdo con el inventario nacional de gases efecto invernadero GEI, el sector de la industria petrolera aporta el 23,1% de las emisiones de estos gases, donde emisiones fugitivas de gas y petróleo representan el 8%, la refinación el 5,5% y las centrales térmicas el 9,7% (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015).

Con base en lo anterior se considera importante analizar las oportunidades que tiene la industria petrolera colombiana en la mitigación de los GEI, rigiéndose así al compromiso adquirido en el Acuerdo de París e identificando las acciones tomadas por empresas a nivel mundial del sector O&G que puedan ser aplicadas en Colombia.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar las oportunidades para la reducción de Gases de Efecto Invernadero en la industria petrolera colombiana, en el marco del Acuerdo de París del 2015 de la ONU.

1.2 Objetivos Específicos

- Describir las operaciones que generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera en las actividades de la industria petrolera.
- Analizar casos de éxito en acciones para mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas por la industria O&G que se están implementando a nivel mundial.
- Evaluar la aplicabilidad de los casos estudiados a la industria petrolera colombiana.
- Identificar el impacto positivo que podría generar la aplicación de estas acciones en la industria petrolera colombiana.

2. Generalidades

2.1 Cambio Climático

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el cambio climático se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio

Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (IDEAM, 2007, p.32).

2.2 Calentamiento global

El calentamiento global se puede entender en forma simplificada como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de Efecto Invernadero (GEI) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales. (Una capa “más gruesa” de gases de efecto invernadero retiene más los rayos infrarrojos y hace elevar la temperatura) (IDEAM, 2007, p.34).

2.3 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y ozono (O_3). Hay además en la atmósfera una serie de GEI creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido de cloro y bromo, regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Están clasificados en directos e indirectos (IDEAM, 2007, p.39).

2.4 GEI directos

“Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentra: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados” (IDEAM, 2007, p.39).

2.5 GEI indirectos

Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono (IDEAM, 2007, p.39).

2.6 Dióxido de carbono (CO₂)

Es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera – océano – tierra, es el más importante GE asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. Dentro del ciclo natural del carbono, el CO₂ juega un rol principal en un gran número de procesos biológicos. En relación con las actividades humanas el CO₂ se emite principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de bosques (según la FAO, el 26% de la superficie terrestre se destina al pastoreo, y la producción de forrajes requiere de cerca de una tercera parte del total de la superficie agrícola. La principal causa de deforestación en América Latina se debe, justamente, a la

expansión de tierras para el pastoreo. El 70% de los bosques amazónicos se usan como pastizales) y por algunos procesos industriales como la fabricación del cemento (IDEAM, 2007, p.39).

2.7 Metano (CH₄)

Es un fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. La carga atmosférica de metano a finales de la década de los 90`s era de 4.800×10^{12} gramos, más de dos veces la cantidad presente durante la era preindustrial. Esta duplicación en la carga atmosférica del metano ha contribuido en aproximadamente un 20% del forzamiento radiactivo directo debido a emisiones antropogénicas de GEI directos. El metano es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilos (OH) convirtiéndose finalmente en CO₂ (IDEAM, 2007, p.40).

2.8 Óxido Nitroso (N₂O)

El óxido nitroso, cuyas fuentes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6% del forzamiento del efecto invernadero. Sus fuentes incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles y biomasa y la agricultura. El óxido nitroso es inerte en la troposfera. Su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico (IDEAM, 2007, p.42).

2.9 Ozono Troposférico (O₃)

El ozono está presente en la estratosfera superior, donde protege la Tierra de niveles perjudiciales de radiación ultravioleta y en concentraciones más bajas en la troposfera,

donde es el componente principal del smog fotoquímico antropogénico. Durante las últimas tres décadas, las emisiones antropogénicas de halocarbonos que contienen cloro y bromo, tal como los CFCs han disminuido las concentraciones estratosféricas de ozono. Esta pérdida de ozono en la estratosfera ha tenido como resultado un forzamiento radiactivo negativo, debido a que el ozono es un importante GEI (IDEAM, 2007, p.44).

2.10 Vapor de agua (H₂O)

El vapor de agua sigue siendo el GEI más abundante en la atmósfera y las nubes son una parte importante del invernadero planetario de la Tierra. Los gases de invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, son investigados quizás 42 más extensamente, pero las nubes pueden provocar el mismo efecto: calientan nuestro planeta atrapando el calor que se encuentra debajo de ellas. A diferencia de los gases de invernadero, sin embargo, las nubes que reflejan los rayos solares también poseen una influencia refrigerante. Además, la temperatura del aire, que se ve afectada por las nubes, a su vez afecta la formación de las propias nubes. Es una relación circular que hace que la investigación del clima sea mucho más compleja (IDEAM, 2007, p.44).

2.11 Mitigación

“Cualquier tipo de actividad que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero o a través de la captura de carbono que llevan a cabo los sumideros como los bosques” (García et al., 2016, p.9).

2.12 Adaptación al cambio climático

La adaptación significa ajustarse, tanto a los efectos ya observados de un clima cambiante, como a los efectos esperados derivados de futuras trayectorias del cambio climático. Este ajuste, significa tanto reducir los riesgos climáticos como aumentar la resiliencia climática en sistemas sociales, naturales y económicos (García et al., 2016, p.9).

2.13 IPCC

En el año 1988 se creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés), cuya función es dar información fiable a los países miembros de la Convención para que puedan tomar decisiones políticas con un soporte científico (García et al., 2016, p.5).

2.14 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) es el tratado internacional que busca darle solución a la problemática del cambio climático. Se firmó en la Cumbre de Río de 1992 y entró en vigor en 1994.

El objetivo de la Convención es “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible” (García et al., 2016, p.5).

2.15 COP

La Conferencia de las Partes (COP) es el máximo órgano decisorio de la Convención. Está conformado por las partes, es decir, aquellos países que la han ratificado. La COP reúne a los representantes de los países parte y es el único órgano que puede tomar decisiones sobre su implementación. Se lleva a cabo anualmente en el país que se ofrece como sede (García et al., 2016, p.6).

2.16 Protocolo de Kyoto

En el año 1997 se adopta el Protocolo de Kyoto que, a diferencia de la Convención, asigna a los países desarrollados (listados en el Anexo I) metas de reducción de gases de efecto invernadero específicas. De esta forma se mantiene entre las Partes que estableció la Convención.

Además de una meta individual, el Protocolo incluye una meta global según la cual los países Anexo I debían llevar a cabo acciones para reducir al menos el 5% de sus emisiones del año 1990. Esta reducción debía realizarse durante el primer periodo de compromiso correspondiente entre los años 2008-2012 (García et al., 2016, p.7).

2.17 Países Anexo I

“Países desarrollados y países de Europa del Este, cuya economía estaba en una fase de transición cuando se negoció la Convención” (García et al., 2016, p.7).

2.18 Países Anexo II

“Países desarrollados que además de tener obligaciones de mitigación, tienen que proporcionar ayuda financiera y tecnológica para que los países en desarrollo puedan cumplir con sus compromisos ante la Convención” (García et al., 2016, p.7).

2.19 Países No Anexo I

“Países en desarrollo que no tienen obligaciones cuantitativas de mitigar, sino de informar periódicamente sobre el estado de sus emisiones e implementar políticas nacionales encaminadas a reducir de sus emisiones y adaptarse al cambio climático” (García et al., 2016, p.7).

2.20 Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un nuevo tratado internacional que se adoptó en 2015 durante la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Es un acuerdo universal y vinculante que busca mejorar la aplicación de la Convención. Su objetivo es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (García et al., 2016, p.10).

2.21 Hidrocarburos

Un compuesto orgánico natural, que comprende el hidrógeno y el carbono. Los hidrocarburos pueden ser tan simples como el metano (CH₄), pero en muchos casos corresponden a moléculas altamente complejas y pueden presentarse como gases, líquidos o sólidos. Las moléculas pueden tener forma de cadenas, cadenas ramificadas, anillos u

otras estructuras. El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos. Los hidrocarburos más comunes son el gas natural, el petróleo y el carbón (Schlumberger, s.f.).

2.22 Upstream

También conocido como exploración y producción (E&P) este sector incluye las tareas de búsqueda de potenciales yacimientos de petróleo crudo y de gas natural, tanto subterráneos como submarinos, la perforación de pozos exploratorios, y posteriormente la perforación y explotación de los pozos que llevan el petróleo crudo o el gas natural hasta la superficie (Agencia Nacional de Hidrocarburos [ANH], s.f.).

2.23 Downstream

“Se refiere comúnmente a las tareas de refinamiento del petróleo crudo y al procesamiento y purificación del gas natural, así como también la comercialización y distribución de productos derivados del petróleo crudo y gas natural” (ANH, s.f.).

3. Marco Legal

A continuación, en la tabla 1, se dan a conocer las resoluciones por las cuales se reglamenta el presente proyecto.

Tabla 1*Marco Legal*

Nombre	Entidad	Fecha	Referencia
Resolución 551	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	29 de marzo del 2009	Por la cual se establecen los requisitos y evidencias de construcción al desarrollo sostenible del país y procedimiento para la aprobación de proyectos de reducción de emisiones de GEI que optan al mecanismo de Desarrollo Limpio-MDI y se dictan otras disposiciones (Ministerio de Ambiente, Resolución 551, 2009).
Resolución 18 1495	Ministerio de Minas y Energía	2 de septiembre del 2009	Artículo 52: Prohibición de Quema de Gas y Desperdicio (Ministerio de Minas y Energía, Resolución 18-1495, 2009).
Resolución 2153	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	2 de noviembre de 2010	Control y Vigilancia de la contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 2153, 2010).
Resolución 0802	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	30 de mayo del 2014	Estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 0802, 2014).

4. Actividades que generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la industria de los hidrocarburos

En la industria de los hidrocarburos se evidencia en su mayoría la emisión de Dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en las diferentes etapas de la cadena productiva. Algunas fuentes de emisiones relacionadas a la industria petrolera colombiana son las fugas de equipos, la evaporación, perdidas por descarga, venteo operativo, quema de tea, incineración y liberaciones

accidentales que pueden darse por fugas de pozos, derrames o ataques en los oleoductos. Teniendo en cuenta que, cada uno de estos gases puede permanecer en la atmósfera por años, décadas o siglos, es importante reconocer los procesos y actividades que generan la emisión de estos gases a la atmósfera en el sector O&G en Colombia.

A continuación, se describirán las operaciones de la industria petrolera colombiana que genera emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

4.1 Petróleo

En cada sector de la industria del petróleo se encuentran fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y estos dependen de las actividades que se desempeñan en las diferentes etapas. Así, la producción, procesamiento y distribución del petróleo son fuentes que emiten GEI durante sus actividades de mantenimiento, rutina y operación.

4.1.1 Venteo Operativo

Emisiones producidas por el venteo de corrientes de gas y desecho de gas/vapor.

4.1.2 Venteo

Liberación controlada de gas no quemado directamente en la atmósfera, para eliminar gas o para la operación segura de la planta. No comprende la liberación consistente de fugas de gas provocadas por pérdida de conductos y equipos, pero sí las purgas de gas. (World Bank, 2004, p.49).

4.1.3 *Venteo de seguridad*

Liberación de gas a una abertura en caso de incendio, aumento excesivo de la presión u otra perturbación de un proceso, o realizada a través de una válvula de liberación de seguridad para impedir el surgimiento de una condición que pueda comprometer la seguridad. (World Bank, 2004, p.49).

4.1.4 *Quema de gas en tea*

Emisiones producidas por la quema de gas natural y corrientes de desecho de gas/vapor.

Comprende las siguientes modalidades:

- **Quema de producción continua:** Quema a largo plazo de gas asociado con la producción de petróleo crudo y no utilizado para atender necesidades de energía in situ o a distancia, recuperado para mercados locales o internacionales de gas o reinyectado. (World Bank, 2004, p.48).
- **Quema de producción no continua:** Quema de corrientes de gas que pueden resultar de liberación de gas en períodos más breves, incluidas las determinadas por pruebas de pozos de corta duración, encendido y apagado de compresores, etcétera. (En las operaciones normales, los volúmenes no continuos de gas encaminados a sistemas de quema son considerablemente menores que los relacionados con la quema continúa) (World Bank, 2004, p.49).

4.1.5 Quema de seguridad

Eliminación de gas mediante su conducción a un sistema de quema contenido a los efectos de impedir que el equipo de producción esté sometido a condiciones de excesiva presión. Los volúmenes de gas quemado incluyen los necesarios para mantener condiciones de seguridad y preparación del sistema de quema para una liberación de gas realizada en condiciones de seguridad no controladas (World Bank, 2004, p.49).

4.1.6 Emisiones fugitivas

Por definición, son pérdidas no intencionales de componentes de cañerías o equipos, tanques de almacenaje y cierres de bombas, incluidas válvulas, bridas y otros conectores, cierres de bombas, válvulas de alivio de presión, líneas de extremo abierto, conectores de muestras, obturadores y topes de caños (World Bank, 2004, p.47).

4.1.7 Combustión

Emisiones correspondientes al gas, contenido en los diferentes combustibles – gas natural, crudo, gasoil, no consumido por un equipo de combustión interna y liberado a la atmosfera. Tales equipos son: hornos, calentadores, calderas, motores de combustión interna, generadores a gas, turbinas a gas (Acevedo, 2012).

Las fuentes de emisiones directas según la tesis de grado de Acevedo (2012):

- Emisiones en pozos. La ANH determina como desperdicio, al gas que se ventea o se quema en los pozos productores de petróleo. Gas anular, es el gas producido normalmente en bajos volúmenes por el espacio anular entre el revestimiento y la tubería de producción del pozo.

- Emisiones en estaciones de recolección y tratamiento.
- Emisiones en plantas compresoras y plantas de proceso.

4.2 Gas natural

En cada sector de la industria del gas se encuentran fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y estos dependen de las operaciones que se desempeñan en las diferentes etapas. Así, la producción, procesamiento y distribución del gas natural son fuentes que emiten metano durante sus actividades de mantenimiento, rutina y operación, generando emisiones de dióxido de carbono durante los procesos de combustión.

4.2.1 Emisiones durante el transporte de gas natural

Al momento de transportar gas natural por gasoductos se generan emisiones fugitivas, dadas por los componentes que generan fugas, despresurizaciones, venteos, válvulas de control y arranque de compresores.

4.2.1.1 Emisiones por combustión. Estos gases de efecto invernadero se presentan por los equipos de combustión durante el almacenamiento y transporte del gas natural. El CH_4 producido por la combustión incompleta del gas natural, El CO_2 por la combustión de carbono y el N_2O por las reacciones de Oxígeno y nitrógeno cuando la temperatura de llama es baja.

Algunos de los equipos que generan GEI por medio de la combustión son:

- **Quema de antorcha:** Este representa la quema del gas natural residuo y los líquidos de hidrocarburos por antorchas, que representan un desecho, ya que no es usado para la

producción de calor útil o energía. Por lo regular, este gas residual se ventea cuando es inoloro y no toxico, sin embargo, genera gran cantidad de emisiones de CO₂ a la atmosfera.

- **Compresores reciprocantes de combustión interna:** Los compresores son dispositivos altamente utilizados en el transporte de gas debido a la compresibilidad de estos, que, a su vez, en las empresas de distribución son usados para generar energía. La combustión de gas natural en esta clase de equipos representa una fuente de emisiones fugitivas significativa, siendo esta la mayor fuente de emisiones en las estaciones compresoras.

4.2.1.2 Emisiones fugitivas. Estas emisiones son fugas no intencionales en los diferentes componentes de la red de transporte y en tuberías, pueden ser dadas por factores como falta de inspección, mantenimiento y desgaste, que liberan a la atmosfera CH₄, CO₂ Y N₂O. Cerca del 97% de las emisiones de GEI generadas en la distribución de gas natural, son clasificadas como emisiones fugitivas (Agencia de Protección Ambiental [EPA], s.f.).

4.2.1.3 Emisiones por venteos operacionales. Las emisiones que se presentan por venteos son descargas intencionales de gas a la atmosfera que se presentan por actividades operacionales o de mantenimiento. Estas son realizadas por actividades de emergencia como la despresurización o alguna función de la estación. Las emisiones por venteos cambian de magnitud según parámetros como el diámetro, presión de línea, entre otros.

Algunos de los equipos que generan emisiones de GEI por medio de venteos son:

- **Venteo del compresor:** Esta es una fuente de emisiones importante debido a la gran cantidad de gas quemado, ya que al no presentarse una combustión completa se genera el metano. Al realizar la despresurización o venteo de los componentes fuera de línea, se emiten un promedio de 15 mcf/año a la atmosfera (EPA, s.f.).
- **Dispositivos neumáticos:** Esta fuente de emisión se genera por los controladores y actuadores de válvula que usan la fuerza de la presión del gas natural para mover esta. Así, el gas que está en la válvula controladora se purga continuamente y el gas que viene del actuador se ventea. Las emisiones emitidas para dispositivos de alta purga están en unos 60 mcf/año, basados en estudios en campo (EPA, s.f.).
- **Venteo de tubería:** Esta fuente de emisión se da por las diferentes actividades de mantenimiento en las tuberías, que consisten en liberar gas natural a la atmosfera con el objetivo de tener un ambiente de trabajo más seguro al evitar la posibilidad de explosiones o incendios. Esta cantidad de gas depende de la presión inicial, final, temperatura y el volumen de la tubería.
- **Rotura de tubería:** Suelen ocurrir al realizar una excavación o sufrir ataques terroristas, estas fugas son proporcionales al tamaño y tiempo de reparación de esta.

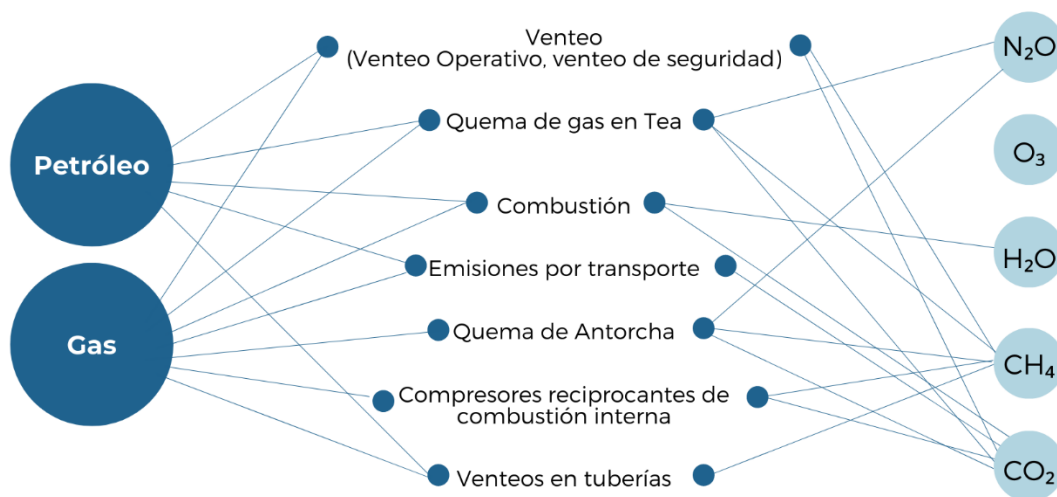
4.2.2 Emisiones en el sistema de recolección

El sistema de recolección es la red de líneas que transportan y controlan el flujo del petróleo o gas desde los pozos hasta una instalación de almacenamiento principal. En este sistema son comunes equipos como bombas, encabezados, separadores, tratadores de emulsión, tanques, reguladores, compresores, deshidratadores y válvulas, entre los más importantes. En estos, el

fluido de trabajo puede ser diésel, gas natural u otros hidrocarburos y los sistemas requieren válvulas de seguridad para el alivio de presión.

Figura 1

Emisiones del petróleo o gas



5. Análisis de los casos de éxito en acciones para mitigar emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas por la industria O&G que se están implementando a nivel mundial

Para el sector de la industria O&G a nivel mundial es importante contribuir de manera positiva a la reducción de los Gases de Efecto Invernadero al ser uno de los sectores que emite estos gases a la atmósfera. Por esto, se recopilaron y analizaron diferentes acciones y tecnologías

que han sido consideradas exitosas en las diferentes empresas de la industria petrolera a nivel mundial.

5.1 Cámaras infrarrojas

En todas las instalaciones de petróleo y gas se tienen diferentes componentes como lo son, bridas, conectores, válvulas y accesorios que son necesarios para el transporte, proceso, regulación y control del petróleo y el gas. Con el tiempo, es normal que estos componentes empiecen a deteriorarse por factores como la corrosión, vibraciones y diferentes condiciones de presión y temperatura a las que son constantemente sometidos. Lo cual genera en estos un desgaste que resulta en escapes de gases de hidrocarburos a la atmósfera, aumentando las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y a su vez, contribuyendo a la pérdida de producto.

Algunas de las fugas, como lo son las de tuberías de alta presión, son evidentes para los operadores y se pueden detectar fácilmente, pero gran parte de estas no lo son. En el caso del metano, al ser incoloro e inodoro la mayoría de las fugas logran pasar desapercibidas a la atmósfera, este gas es menos predominante que el dióxido de carbono, pero es mucho más potente al momento de atrapar el calor del sol, y se ha convertido cada vez más en una preocupación para cumplir las metas de reducción de Gases de Efecto Invernadero del Acuerdo de París.

Desde hace décadas las cámaras infrarrojas han sido utilizadas para diferentes aplicaciones en la industria del petróleo y gas como exámenes de integridad a tuberías dentro de los diferentes procesos, inspecciones eléctricas, mecánicas, entre otras. En la actualidad, se desarrolla esta

tecnología de detección óptica para visualizar gases de hidrocarburos y compuestos volátiles que se fugan a la atmosfera.

La tecnología de detección óptica es ideal para cumplir con las diferentes condiciones normativas de emisiones y la reducción de las pérdidas de producto. Estas cámaras logran ahorrar tiempo en comparación con otras tecnologías de inspección ya que se pueden comprobar de forma rápida miles de componentes. Por consiguiente, la detección óptica se considera un método eficaz en el sector para identificar y reparar las fugas de gas natural en puntos de escape potencial, como estaciones compresoras, plantas de procesamiento, pozos de fracturación hidráulica y líneas de transporte, entre otras.

El método de trabajo de estas cámaras infrarrojas consiste en visualizar las emisiones de metano en tiempo real logrando que las inspecciones de fugas de gas sean más rápidas y eficientes. Estas cámaras facilitan encontrar fugas potencialmente peligrosas e invisibles de metano en lugares con cadena de gas natural (Revista fabricación, 2019).

La tecnología “Smart LDAR” puede inspeccionar grandes áreas en un periodo de tiempo más corto, es una práctica de trabajo diseñada para identificar el equipo con fugas y reducir las emisiones mediante reparaciones o en su defecto ser remplazado (Environmental Protection Agency, 2014). A su vez, se reduce el tiempo de inspección y se incrementa la seguridad en la zona de trabajo, logrando controlar y disminuir las emisiones producidas en válvulas, juntas o cualquier tipo de equipo con riesgo de experimentar fuga de gas y a su vez, prevenir las infracciones reguladoras.

5.1.1 Aplicación de un programa LDAR

Se establecen los criterios mínimos a seguir para la aplicación de un programa LDAR recomendado por el departamento de Control de Salud y Medioambiente de Carolina del Sur (Rodríguez, 2007):

1. Identificación del componente con fuga: Por medio de la cámara infrarroja y la tecnología Smart LDAR se hace una identificación de los puntos de fuga y el tipo de componente.
2. Definición de la tasa de fuga: Con la medida de 10.000 ppmv como metano para compuestos orgánicos, como especifica el método 21 de la EPA
3. Mediciones iniciales: Se realizan teniendo en cuenta el tipo de fuente (bomba, compresor, etc.), tipo de detector usado y resultados de la medida en ppmv y calibración.
4. Monitoreos periódicos: Se realizan informes y son enviados anualmente a la autoridad competente.
5. Programa de reparación: Los intentos de reparación comenzarán dentro de los 5 días siguientes a la detección de la fuga.
6. Almacenamiento de datos: Los datos sobre inspecciones ordinarias, mensuales, reparaciones etc., deben almacenarse por un periodo de 5 años.
7. Notificaciones: La autoridad competente debe notificar al menos dos semanas antes de una revisión periódica.

5.1.2 Empresas que utilizan tecnología de cámaras infrarrojas

A continuación, se presentarán empresas en la industria del petróleo y gas que han utilizado la tecnología de cámaras infrarrojas para la detección y control de sus fugas.

5.1.2.1 Shell. Shell está implementando los métodos y programas que incluyen el uso de cámaras infrarrojas y ópticas de imágenes de gas para detectar las emisiones de metano y aplicar tecnología avanzada para reparar las fugas de sus instalaciones. Esta tecnología busca complementar la ambición de Shell, demostrando el constante enfoque contra las emisiones de Gases de Efecto Invernadero que producen, siendo una estrategia fundamental para prosperar durante la transición energética global al proporcionar energía más limpia y lograr reducir la huella de carbono neta a la mitad para el año 2050.

En 2019 se logró que la intensidad de las emisiones de metano de Shell oscilara entre menos del 0,01% y 1,3%. Adicional a esto, la compañía se ha enfocado en desarrollar junto a la industria, instituciones internacionales, organizaciones no gubernamentales y académicos un conjunto de principios rectores de metano que se enfocan continuamente en la reducción de emisiones en toda la industria del gas para cumplir su objetivo de reducción manteniendo las emisiones de metano por debajo del 0,2 % para el 2025 (SHELL, 2019).

Para Shell es importante manejar este tipo de tecnología ya que, antes de esta, un inspector debía realizar aproximadamente 500 inspecciones al día. Ahora al disponer de este sistema de cámaras infrarrojas se puede llevar una inspección de más de 100 objetos por hora, permitiendo que los sistemas no se paren durante su inspección, se realicen mediciones rápidas, a un costo

relativamente bajo y las fugas se puede identificar en una fase temprana reduciendo al mínimo las descargas de gas y otras sustancias orgánicas volátiles de las tuberías (The World's Sixth Sense. FLIR, 2020).

5.1.2.2 Encana. Según Borges (2011) en el año 2007, la compañía de petróleo y gas natural Encana puso en marcha el programa de detección de fugas utilizando cámaras infrarrojas “Smart LDAR” para cuantificar las tasas de emisiones de fugas en sus instalaciones. Allí, fueron incluidos en el programa 35 estaciones de compresión y 1.860 sitios de producción (p.10).

Los datos recolectados mostraron una tasa de fuga en una estación de compresores de hasta 481 m³/día, al revisar los resultados y llevar a cabo las reparaciones y mantenimientos pertinentes en los componentes con fugas, se logró reducir un 10,13 MMm³/año en fugas de metano, lo que es equivalente a US \$1,79 millones de dólares al año generado por las ventas del gas que permaneció en el sistema al reparar las fugas (Borges, 2011, p.11).

Este tipo de proyectos se han implementado en diferentes instalaciones alrededor del mundo debido a los beneficios medio ambientales, operativos, de seguridad y económicos, teniendo en cuenta que, el costo de capital en compra de herramientas para la detección de fugas es aproximadamente US \$100.000 y los costos de operación y mano de obra para la detección es de aproximadamente US \$12.100/año. Considerando el valor del gas ahorrado mencionado anteriormente, se logra ver un buen balance y un periodo de reembolso de inversión corto para la empresa (Borges, 2011).

5.1.2.3 ConocoPhillips. ConocoPhillips realizó un estudio piloto de detección y medición ópticas de fugas en 22 instalaciones para probar los procedimientos recomendados de gestión de emisiones fugitivas. Los hallazgos de este estudio se utilizaron para evaluar las ventajas de utilizar la tecnología de detección óptica de gas (OGI) como parte del plan de gestión de emisiones fugitivas para las operaciones canadienses de la empresa.

En el estudio se identificaron 144 componentes con fugas, que en conjunto sumaban alrededor de 358.000 USD en pérdida de producto. Este, dio lugar a fugas de metano que contribuían en más de 21.000 toneladas al año de dióxido de carbono (CO₂) a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El estudio estimó que el 92% (132) de las fugas son económicamente viables de reparar, lo que conlleva a un ahorro potencial de \$358.012,10 USD / año y un ahorro neto de \$2.002.602,72 USD. La reducción de emisiones es de 21.420,7 toneladas de CO₂ / año, lo que quiere decir que estas fugas de metano podrían tener un valor adicional de \$ 535.518,25 USD / año (Conoco Phillips, 2006).

Con esto, ConocoPhillips desarrollo una estimación del beneficio económico total de la implementación de una evaluación de fugitivos en toda la unidad de negocio utilizando los resultados del estudio realizado. Esta estimación se basa en el número total de plantas de gas y estaciones compresoras que actualmente posee ConocoPhillips (64 plantas de gas y 580 estaciones compresoras).

A partir del estudio, el ahorro anual potencial promedio sería de \$ 16.000,00 USD y el costo promedio de la evaluación y todas las reparaciones es de \$ 8.000,00 USD. Es decir, se llegaría a un ahorro anual estimado de \$ 10.400.000,00 USD donde el gas recuperado equivaldría a una reducción anual de 630.000 toneladas de CO₂, lo que representa una reducción del 67% en el total estimado de GEI fugitivos y una reducción del 19% en las emisiones directas totales. Esta reducción de GEI tendría un valor de crédito de carbono de \$ 15.750.000,00 USD (Conoco Phillips, 2006).

5.2 Inventario

Un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero es una actividad que se desarrolla actualmente en varios países y se lleva a cabo para tener un reporte sobre la cantidad de Gases de Efecto Invernadero emitidos y absorbidos hacia la atmósfera como resultado de actividades humanas, para un período de tiempo estipulado (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], s.f.):

- Metano (CH₄)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Óxido nitroso (N₂O)

Con estos inventarios, se permiten identificar de una manera más eficiente las oportunidades de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y gestionar planes con

políticas de mitigación en los diferentes sectores. Así, se evitan los efectos negativos del cambio climático al entregar información sobre cuantos y cuales GEI se emiten en sus actividades.

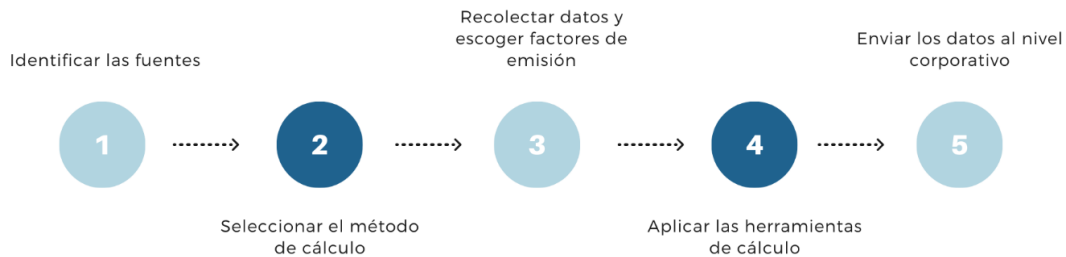
En 1998 se empieza la iniciativa del protocolo de Gases de Efecto Invernadero para desarrollar estándares de contabilidad y reporte aceptados internacionalmente. Debido a esto, se publica la primera edición del documento Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de GEI (ECCR) en septiembre del 2001, este se ha tomado como base para desarrollar el reporte y contabilidad de los GEI.

Según la World Resources Institute (s.f.), un inventario corporativo de GEI puede contribuir a varios objetivos, como lo son (p.4):

- Gestión de riesgos asociados a los GEI e identificación en las oportunidades de reducción.
- Participación en programas de reporte obligatorio.
- Reportes públicos.
- Reconocimiento a acciones voluntarias tempranas de reducción de emisiones.

5.2.1 Pasos para identificar y calcular emisiones de GEI

Los pasos para identificar y calcular emisiones de Gases de Efecto Invernadero se encuentran descritos en la figura 2.

Figura 2*Pasos para calcular las emisiones de GEI*

5.2.1.1 Identificar fuentes. Según el World Resources Institute (s.f.) para lograr delinear de manera eficiente las fuentes de emisiones directas e indirectas, el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte, define tres “alcances” para propósitos de reporte y contabilidad de gases de efecto invernadero (p.29):

- **Alcance 1. Emisiones directas de GEI:** Se consideran emisiones directas a las fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa, como lo son las emisiones provenientes de la combustión en hornos, calderas, vehículos que son propiedad o están controlados por la empresa. Las emisiones de gases de efecto invernadero no cubiertos por el protocolo de Kioto, como lo son CFCs, NOx, etc. No deben incluirse en el alcance 1 (p.29).
- **Alcance 2. Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad:** Este alcance incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa. Se define la electricidad adquirida como la electricidad comprada, o traída dentro

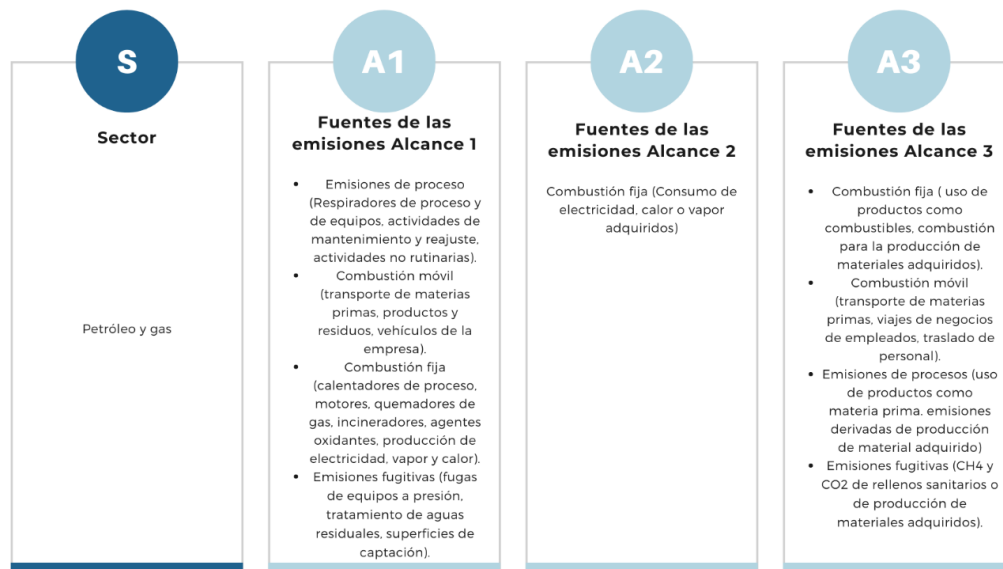
del límite organizacional de la empresa. Estas emisiones se encuentran en la planta donde la electricidad es generada (p.29).

- **Alcance 3. Otras emisiones indirectas:** Esta es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Las emisiones de este alcance son consecuencia de las actividades de la empresa, pero estas son generadas en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa (p.29).

En el sector del petróleo y gas estos alcances se presentan de la siguiente manera, en la figura 3:

Figura 3

Alcances en el sector de Petróleo y Gas



Nota: Tomado de *Protocolo de Gases Efecto Invernadero* (p.104), por World Resources Institute, s.f.

5.2.1.2 Selección de un método de cálculo. La aproximación más común para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero es mediante la aplicación de factores de emisión documentados con tecnologías de cálculo que van de la aplicación de factores genéricos de emisión al monitoreo directo.

Cuando el monitoreo directo no está disponible o su costo es prohibitivo, los datos de emisiones pueden ser calculados a partir de información del uso de combustibles. Así, las empresas deben aplicar el método de cálculo más preciso que tengan a su disposición y que sea apropiado dentro del contexto del reporte (World Resources Institute, s.f.).

5.2.1.3 Recolectar datos de actividades y elegir factores de emisión. Las emisiones de alcance 1 serán calculadas con base en las cantidades obtenidas de combustibles comerciales. Las emisiones de alcance 2 se calcularán a partir de los factores de emisión publicados por los proveedores de electricidad y del consumo de este. Las emisiones de alcance 3 serán calculados según los datos de las actividades de la empresa (World Resources Institute, s.f.).

5.2.1.4 Aplicar herramienta de cálculo. Existen dos categorías principales de herramientas de cálculo (World Resources Institute, s.f.):

- **Herramientas intersectoriales:** Son aplicadas a distintos sectores, que incluyen: combustión móvil, fija, aire acondicionado, e incertidumbre en la medición y estimación.
- **Herramientas sectoriales:** Están diseñadas para calcular las emisiones en sectores específicos, como en este caso petróleo y gas.

Cualquiera de las dos herramientas mencionada anteriormente cuenta con una sección de orientación y hojas de cálculo automatizadas con explicaciones sobre cómo utilizarlas.

5.2.1.5 *Enviar los datos de emisiones de GEI a nivel corporativo.* Para reportar las emisiones de la empresa, se deben recopilar los datos de muchas plantas de manera consistente, estas herramientas de recolección y administración de datos pueden incluir bases de datos seguras, formatos de hojas de cálculo y formas de reporte en papel para ser enviadas a oficinas corporativas (World Resources Institute, s.f.).

5.2.2 *Empresas que utilizaron inventarios de GEI*

A continuación, se presentarán empresas en la industria del petróleo y gas que han utilizado inventarios de gases de efecto invernadero para reportar y controlar los gases que emiten a la atmósfera.

5.2.2.1 *Petrochina.* En respuesta al Acuerdo de París la compañía está al tanto de las emisiones de gases de efecto invernadero, por esto, incorporo el cambio climático en sus planes de desarrollo corporativo. En el año 2018 Petrochina mejoró el sistema de información para la ejecución de los informes de contabilidad de los gases de efecto invernadero, coordinando el cálculo de las emisiones de estos y a su vez completando el inventario de estos gases para cada área comercial. Así, lograron cubrir las emisiones de combustión, producción, escape y otras directas e indirectas.

El sistema de control y los mecanismos de emisiones de gases de efecto invernadero de Petrochina se pueden apreciar en la figura 4 y 5 respectivamente.

Figura 4

Sistemas principales de control de emisiones GEI

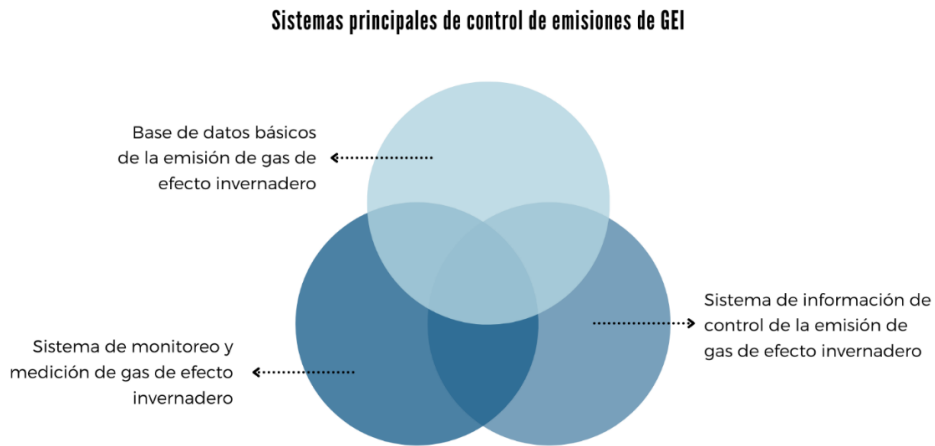
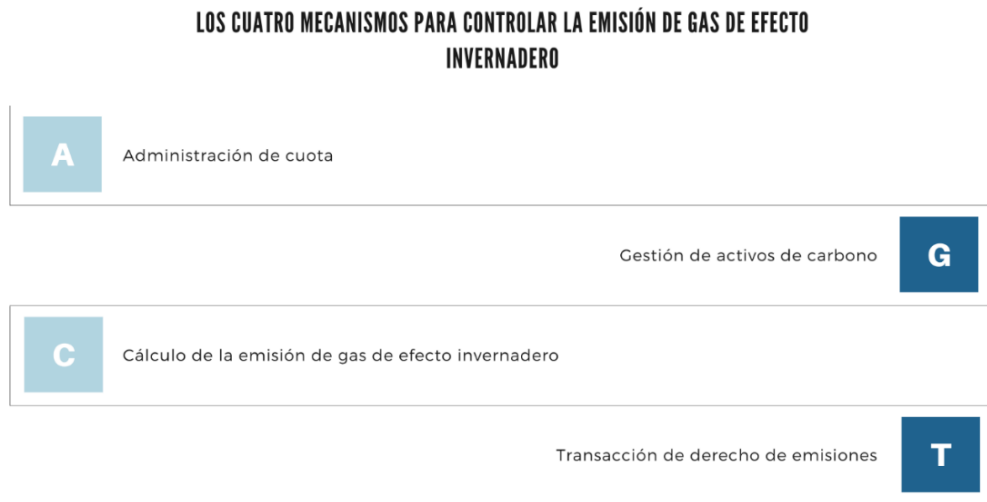


Figura 5

Los cuatro mecanismos de control de emisión GEI



5.2.2.2 Chevron. Esta empresa ha logrado desarrollar e implementar programas de cómputo consistentes con el ECCR (Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del protocolo de GEI) para la estimación y reporte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Este tipo de programas se encuentran disponibles y permiten desarrollar los datos más fáciles y exactos. Incluyendo así, un sistema de contabilidad y reporte de estos gases.

Esta herramienta basada en Excel y Visual Basic permite estimar emisiones de gases de efecto invernadero, con la consolidación e integración de datos mensuales para enviar reportes a una base de datos centralizada. Además, las actualizaciones al programa de cómputo central se aplican de manera automática a la configuración existente (World Resources Institute, s.f.).

La inversión, una sola vez realizada por ChevronTexaco para desarrollar el sistema SANGEA ha demostrado resultados. Un estimado de costo aproximado para la refinería de ChevronTexaco en Richmond, California, indica ahorros de más del 70% a lo largo de un período de cinco años comparado con los programas convencionales basados en sistemas de reporte desarrollados localmente (World Resources Institute, s.f., p.50).

En el 2004 Chevron Texaco Corp. y el Instituto Americano del Petróleo anunciaron un acuerdo por el cual ChevronTexaco transferirá la propiedad de su Sistema de Estimación de Emisiones y Energía SANGEA. Se dona el software a API con el objetivo de que lo utilicen todas las empresas de petróleo y gas para promover la estandarización de las metodologías utilizadas y

la comparabilidad en la recopilación de información de inventario de gases de efecto invernadero (ChevronTexaco, 2003).

El software SANGEA (TM) se puede utilizar para estimar las emisiones de la mayoría de las actividades de la industria del petróleo y el gas, incluida la exploración y producción, refinación y comercialización, fabricación petroquímica, transporte, generación de electricidad y otras actividades relacionadas. Las hojas de cálculo creadas por el software SANGEA (TM) se pueden vincular a los sistemas de gestión de datos existentes para automatizar el proceso de cálculo y hacer más fácil el proceso de inventario (ChevronTexaco, 2003).

Actualmente, el API cuenta con la versión SANGEA 4.3 Emissions Estimating System, y en su página oficial ofrecen la venta del software, para clientes fuera de los Estados Unidos se debe tener en cuenta las tarifas de transacción e impuestos que serán adicionadas sobre el precio base.

5.3 Programa de personal para reducir la huella de carbono

Teniendo en cuenta que la huella de carbono producida por las empresas no sólo es resultado de las operaciones, una de las empresas estudiadas en este proyecto decidió enfocar sus acciones a la huella personal de sus trabajadores dentro y fuera de las instalaciones proponiendo programas que los concientizan e invitan a practicar las mismas acciones de su rutina pero un poco más limpias.

5.3.1 Programa “My Advancing Low Carbon” (ALC) – por la empresa British Petroleum (BP)

Si bien, los GEI se encargan de mantener el calor en nuestra atmósfera y se necesita de ellos para sobrevivir. Sin embargo, al incrementar las emisiones de forma excesiva los efectos en el medio ambiente son devastadores, por lo que saber la cantidad de gases que se emiten directa o indirectamente es importante.

A finales del año 2017 la petrolera British Petroleum creó un programa para sus empleados en UK y US con la finalidad de incentivarlos a reducir su huella de carbono personal y la de la empresa, creando diferentes perfiles de emisiones de carbono fácilmente adaptables al estilo de vida de sus empleados, con el fin de que ellos seleccionen el más compatible y establezcan objetivos alcanzables a corto y largo plazo. A su vez, a nivel empresarial se buscó reducir las emisiones en las operaciones, ayudar a socios y clientes a disminuir su huella, identificando oportunidades y permitiendo alcanzar nuevos logros.

En todo momento hay un gasto de energía, ya sea encendiendo las luces o conduciendo al trabajo, la huella de carbono puede ser personal, familiar, organizacional, etc... y esta depende de varios factores como por ejemplo el tamaño del establecimiento, el número de miembros, el tipo de vehículos a utilizar, entre otros; Por lo que este programa busca calcular las distintas huellas de carbono y evaluar la forma de mitigar estas emisiones.

El programa apoya con créditos de carbono a proyectos sin fines de lucro que han sido cuidadosamente seleccionados, la empresa cuenta en su reporte de sostenibilidad que estiman haber ahorrado o compensado cerca de 64 millones de toneladas de CO₂ equivalente con

actividades realizadas por BP, y 5,4 millones de toneladas con actividades realizadas por socios de BP desde que comenzó el programa en el 2017.

Teniendo en cuenta que cualquier detalle por pequeño que sea cuenta, BP propone las siguientes actividades, que van desde compartir el vehículo con un compañero de trabajo que tome la misma ruta, hasta:

- ***Lighting Systems.*** BP ha invertido en esta empresa estadounidense que fabrica sistemas eléctricos para camiones, furgonetas y autobuses, ya sea reemplazando por completo los vehículos diesel o gasolina por eléctricos o tomando vehículos existentes y cambiando su sistema de gasolina o diesel por el que la empresa desarrolla de emisión cero (BP Sustainability Report, 2019).
- ***BP Chargemaster.*** BP instaló en el 2018 más de 7500 puntos para cargar vehículos eléctricos. Para el 2019 habían ahorrado aproximadamente 15000 toneladas de CO₂ equivalente (BP Sustainability Report, 2019).
- ***Carbonfree Chemicals.*** Bp ha invertido en una compañía estadounidense, que se encarga de desarrollar tecnología para convertir las emisiones de los gases de efecto invernadero en químicos que se puedan usar para realizar productos como el polvo de hornear. Con esta iniciativa se han ahorrado aproximadamente 6100 toneladas de CO₂ equivalente (BP Sustainability Report, 2019).
- ***Castrol low viscosity lubricants.*** Castrol proporciona un lubricante para motor con baja viscosidad, lo que ayuda a disminuir el consumo de combustible y por ende menores emisiones de GEI. Se estima haber ahorrado cerca de 790000 toneladas de CO₂ equivalente desde enero a diciembre del 2019 (BP Sustainability Report, 2019).

- ***C-Capture.*** BP invirtió en C-Capture una compañía de UK que desarrolla una nueva tecnología de disolvente de aminas con el potencial de remover el dióxido de carbono de los procesos industriales de gran escala. Este disolvente es menos corrosivo y consume menos energía que el de aminas tradicionales (BP Sustainability Report, 2019).
- ***Satellite surveillance for pipelines in Trinidad.*** BP Trinidad y Tobago está usando tecnología satelital para inspeccionar sus oleoductos, con el fin de reducir los vuelos en helicóptero. BPTT está usando cámaras ópticas y sensores de radar que capturan imágenes de alta resolución (BP Sustainability Report, 2019).
- ***Tribe for lightsource BP.*** Lightsource BP lanzo un sistema inteligente de gestión de energía del hogar que ayuda a personas con paneles solares, sistemas de almacenamiento de energía y vehículos eléctricos a monitorear, controlar y optimizar su consumo energético. Actualmente se está usando en Australia (BP Sustainability Report, 2019).
- ***Voltaware.*** Es una empresa de UK en la que BP ha invertido para adquirir un sistema de monitoreo de la energía en tiempo real. El dispositivo Voltaware utiliza sensores e inteligencia artificial para compilar los datos de dispositivos eléctricos, con el fin de permitirle a los usuarios comprender y gestionar mejor su consumo eléctrico. A nivel empresarial permite rastrear el rendimiento de máquinas o equipos individuales y ver si está fallando y necesita reparación. Este sistema viene con una aplicación asociada que comprueba y analiza todo en tiempo real (BP Sustainability Report, 2019).

5.3.1.1 Pasos para incluir una nueva actividad en el programa (ALC). Los siguientes pasos fueron tomados de un informe que describe el programa por British Petroleum Oil Company (BP Sustainability Report, 2019):

- **Paso 1.** Las empresas de BP identifican las actividades potenciales que pueden ser elegibles para programa.
- **Paso 2.** Las áreas comerciales con actividades elegibles envían una solicitud y proporcionan la evidencia de apoyo requerida. Se realizan las aplicaciones según los criterios de ALC y las directrices de apoyo.
- **Paso 3.** El equipo de ALC y los expertos internos revisan las actividades presentadas contra criterios, evalúan si las metodologías cumplen con los estándares requeridos cuando sea relevante y si la información proporcionada es coherente, verificable y completa. El equipo Carbono Steering Group también revisa periódicamente el progreso a un nivel superior y supervisa el programa.
- **Paso 4.** Los miembros del panel asesor externo revisan el programa ALC y actividades y a su vez, proporcionan orientación y asesoramiento externos.
- **Paso 5.** Deloitte LLP lleva a cabo una garantía independiente sobre los programas, incluida la evaluación de la aplicación del proceso y los criterios de BP para actividades de acreditación y compensación y ahorro de emisiones de GEI dentro del programa.
- **Paso 6.** Actividades que BP considera que han superado con éxito el proceso de solicitud y aseguramiento está acreditado bajo el programa ALC por 12 períodos de acreditación de meses.

5.3.1.2 *Criterios y principios generales del programa*

- **Criterio 1.** Cada actividad debe cumplir al menos uno de los "mejores resultados de carbono" definidos por el programa:

- a) Reducir las emisiones de GEI

- b) Producir menos carbono que la competencia o los puntos de referencia de la industria

- c) Proporcionar energía renovable

- d) Compensación de carbono producido

- e) Promover la investigación y la tecnología para promover la reducción de emisiones de carbono

- f) Permitir que BP o terceros cumplan sus objetivos de bajas emisiones de carbono

- **Criterio 2.** Cumplir con los requisitos del programa ALC sobre el cálculo de los GEI.

- **Criterio 3.** Ofrecer mejores resultados en cuanto a reducción de GEI y que sea una actividad que permanezca en el tiempo.

- **Criterio 4.** Ir más allá de lo que se requiere para cumplir las regulaciones relevantes, es decir, las emisiones de GEI asociadas a la actividad deben tener resultados que sobrepasen los límites mínimos establecidos por cualquier legislación o reglamentación aplicable sea nacional o internacional.

- **Criterio 5.** Las actividades deben ser desarrolladas por BP o Socios de BP.

- **Criterio 6.** Estar en funcionamiento. Este criterio indica que la actividad debe estar activa en la fecha de solicitud de ALC así como durante el periodo de 12 meses que se da para la acreditación de la misma.

- **Criterio 7.** La actividad o programa debe estar verificado por un proveedor de garantía externo e independiente de BP.

5.4 Drones

Siendo un dron un vehículo capaz de volar y ser comandado a distancia, las empresas hoy en día intentan utilizarlo con diversas finalidades, incluso dentro de la industria petrolera.

5.4.1 *Propuesta de la empresa para reducción de quema de gas*

La reducción por quema de gas es uno de los objetivos más comunes en las empresas, ya que representa un porcentaje considerable de sus emisiones de gases de efecto invernadero, incluso hay metas establecidas de cero quemas de gas en TEAS. Las propuestas analizadas son las siguientes:

5.4.1.1 BP – Monitoreo de las actividades con drones. La petrolera British Petroleum empezó a usar tecnología que originalmente se usó en Marte para monitorear sus emisiones de metano en plataformas offshore ubicadas en el mar del norte. El dron rodeo la plataforma Clair durante 90 minutos mientras transmitía datos en vivo para su análisis, completando lo que pudo ser el vuelo de drones civiles más largo realizado en el Reino Unido (BP Sustainability Report, 2019).

Luego de la prueba piloto Luca Corradi, director de la red de innovación del Centro de Tecnología de Petróleo y Gas (OGTC), dijo: "Eliminar las emisiones de metano es un área de enfoque clave para descarbonizar las operaciones de petróleo y gas en alta mar. A medida que el OGTC lanza su nuevo Centro de Soluciones Net Zero, este es un ejemplo de la tecnología que

cambia el juego que necesitamos ver más para detectar y cuantificar con precisión las emisiones de metano, luego contenerlas y eliminarlas”.

Ahora BP utiliza drones de forma rutinaria para realizar tareas de inspección visual, lo que reduce la necesidad de que las personas trabajen en alturas. Su uso también permite mantener calientes los escapes de las turbinas o las antorchas en funcionamiento durante las inspecciones, evitando los aumentos de emisiones que se producen durante el cierre y reinicio del plan. Además de la reducción de vuelos a la plataforma, ya que el dron es pilotado por 3 personas desde la isla de Papa Stour a través de comunicación satelital y enlaces de radio (BP Sustainability Report, 2019).

5.5 Exxon Mobil – Captura y almacenamiento de dióxido de carbono

Exxon mobil desde el 2000 ha invertido cerca de 10 billones de pesos en proyectos que tienen la finalidad de reducir el impacto ambiental y los riesgos del cambio climático. Uno de los proyectos que está desarrollando en sociedad con la empresa FuelCell Energy es la captura de carbono que como su nombre lo indica consiste en capturar las emisiones de dióxido de carbono generadas por la quema de combustibles fósiles para generación eléctrica, principal fuente de emisiones de carbono en este proyecto se está realizando a través de unas aminas que logran separar el dióxido de carbono de otros gases.

La captura de carbono consta de 3 pasos: Captura, transporte y almacenamiento. Básicamente el dióxido de carbono se captura junto con otros gases, es separado y se transporta a un espacio geológico que pueden ser: rocas permeables profundas saturadas en aguas salobres, campos de petróleo o gas agotados o en vías de agotamiento, capas de carbón y cavidades

construidas en rocas salinas y al menos un kilómetro de profundidad y luego puede ser reciclado para generar energía o producir distintos químicos (ExxonMobil, 2018).

ExxonMobil tiene aproximadamente 30 años apuntando a este desarrollo tecnológico, es la primera empresa en capturar más de 120 millones de toneladas de CO₂, lo que equivale a las emisiones de más de 25 millones de carros durante un año. La empresa posee la quinta parte de la capacidad global de captura de dióxido de carbono y ha capturado cerca del 40% del CO₂ de todo lo que se ha capturado en el mundo, también creó el plan Low Carbon Solutions para comercializar su avance como plan de oportunidades de captura de carbono a gran escala en diferentes sectores: industriales, refinación, química, cemento y acero.

El enfoque actual del proyecto es comprender todo lo que está detrás de las celdas de combustible de carbonato, buscar maneras para aumentar la eficiencia en la separación y concentración del CO₂ con el fin poder generar energía a partir del dióxido de carbono capturado de forma rentable (ExxonMobil, 2018).

6. Evaluación de la aplicabilidad de los casos estudiados de la industria petrolera colombiana

Con el fin de cumplir el compromiso adquirido en el Acuerdo de París, durante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático por Colombia de reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030, se evaluó la aplicabilidad de los casos estudiados anteriormente en la industria petrolera colombiana, considerando los

elementos mínimos que conceptualmente un proyecto del PMA debe tener para considerarse viable en Colombia. En las figuras 6, 7, 8, 9, 10 se puede apreciar la información relevante para cada una de las propuestas estudiadas respectivamente.

Figura 6

Información propuesta de Monitoreo de actividades con drones

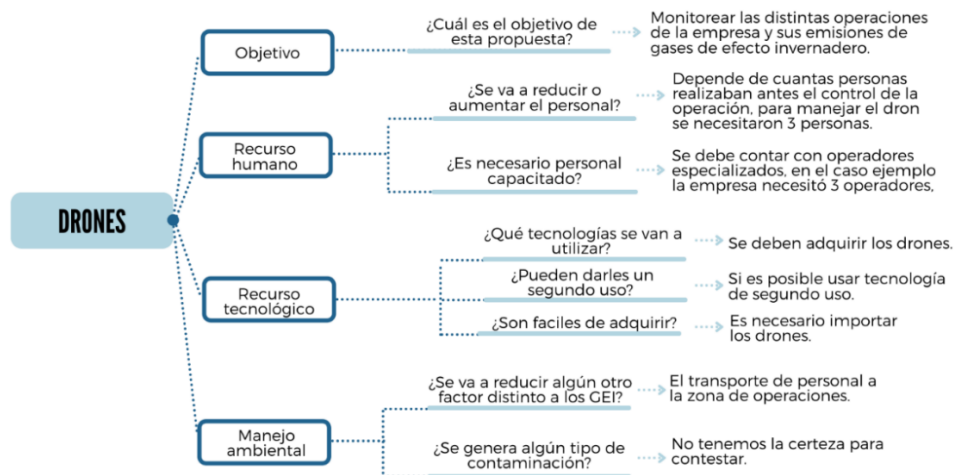


Figura 7

Información propuesta de cámaras infrarrojas

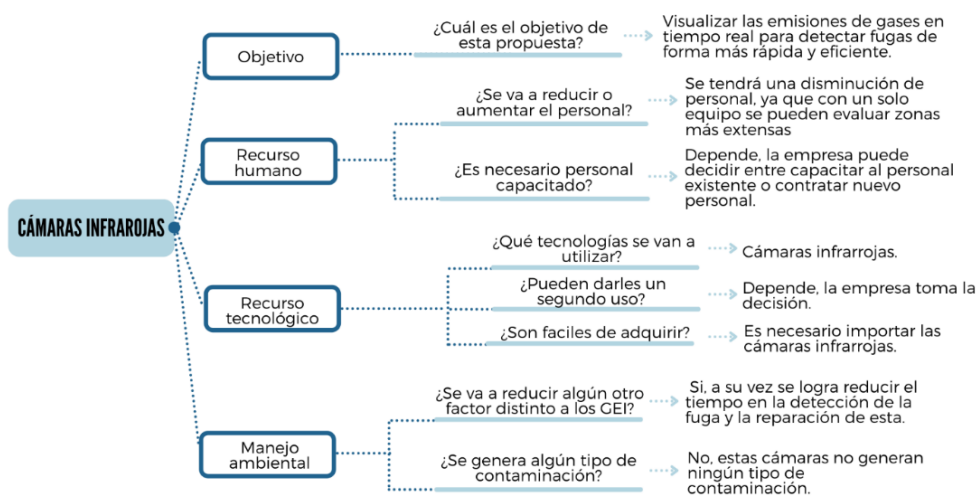


Figura 8

Información propuesta de inventario

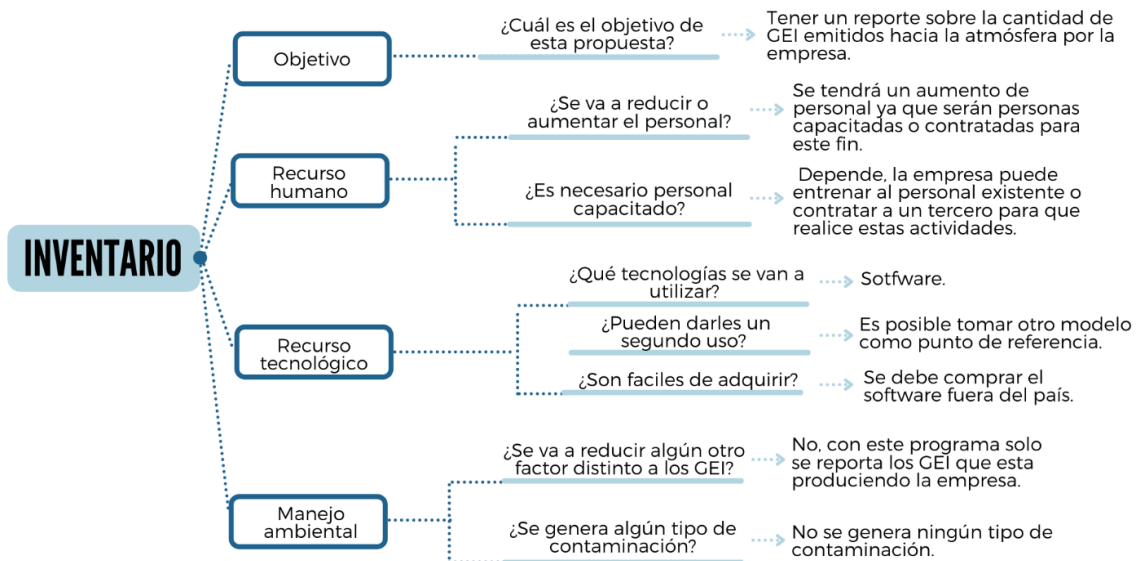


Figura 9

Información propuesta de programa/personal

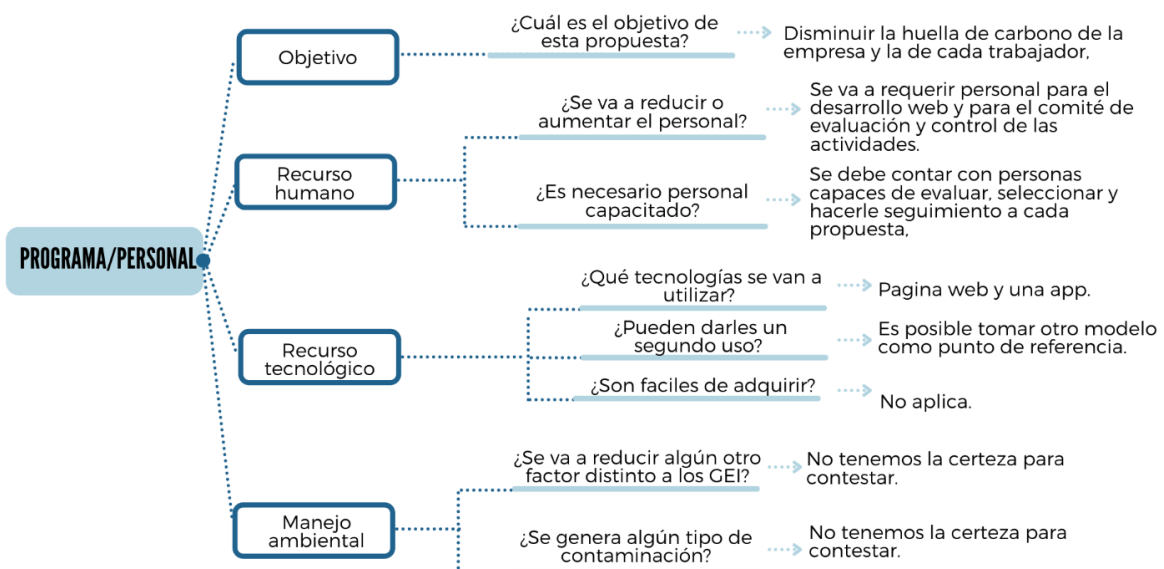
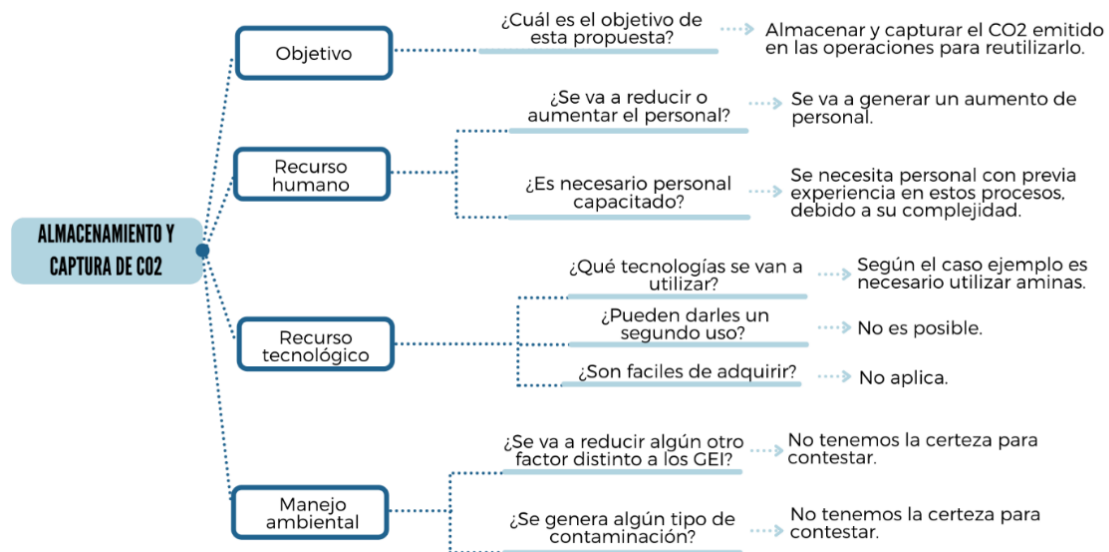


Figura 10

Información propuesta de almacenamiento y captura de CO₂



Tras realizar el análisis anterior sobre cada una de las propuestas mencionadas, se ilustrará con la figura 11 un cuadro semáforo que compilará los resultados obtenidos. Estos, se caracterizaron como favorable (color verde), no favorable (color rojo), depende (color amarillo) y para los casos que no aplica la pregunta (color gris).

Se aclara, que en la figura 11 cada una de las letras representa una de las propuestas, siendo así: D (drones), C (cámaras infrarrojas), I (inventario), P (programa del personal), A (almacenamiento y captura de CO₂).

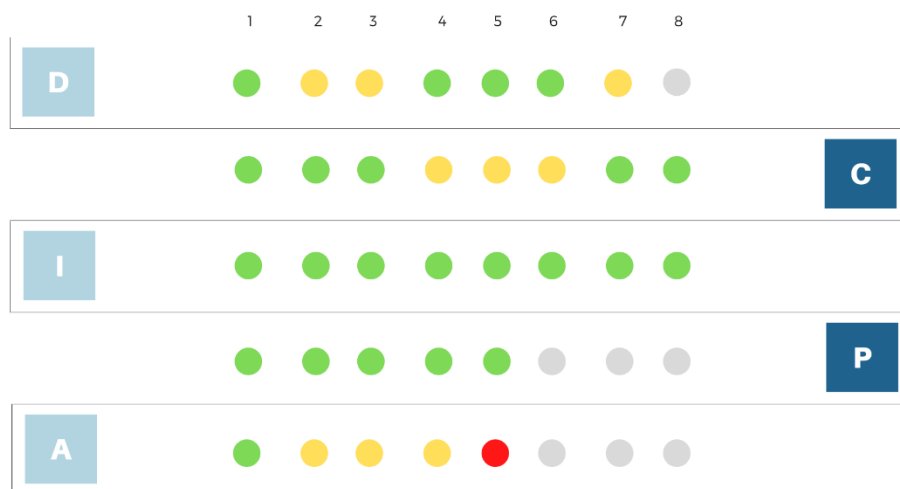
A su vez, las preguntas van numeradas de la siguiente manera:

1. ¿Cuál es el objetivo de la propuesta?

2. ¿Se va a aumentar o reducir personal?
3. ¿Es necesario personal calificado?
4. ¿Qué tecnologías se van a utilizar?
5. ¿Pueden darles un segundo uso?
6. ¿Son fáciles de adquirir?
7. ¿Se va a reducir otro factor distinto a los GEI?
8. ¿Se genera algún tipo de contaminación?

Figura 11

Resultado del análisis de cada propuesta estudiada



Analizando los resultados obtenidos en el cuadro semáforo de la figura 11 se plantearán las acciones propuestas de la más viable a la menos viable para la industria petrolera colombiana. Así, se concluye al inventario como la acción más favorable para poner en práctica, teniendo en cuenta la facilidad de desarrollo y la identificación de focos de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. De igual manera, se encuentra el programa de personal que permite ejecutar acciones

en todos los niveles de la empresa reduciendo la huella de carbono de sus trabajadores. Seguidamente a esta acción, es viable implementar la tecnología con cámaras infrarrojas y drones para el monitoreo y pronta detección de los GEI.; Por último, se considera la propuesta de almacenamiento y captura de CO₂ una acción que reduce las emisiones y que en un futuro se usa para suplir necesidades energéticas, sin embargo, se consideró la menos viable al necesitar mano de obra calificada y tecnología que no se encuentra en el país.

6.1 Lineamientos de gestión para aplicar los casos propuestos

A continuación, se plantea el modelo de la triple hélice, que relaciona la academia, empresa y estado. De tal modo que, la academia se representa por las universidades y grupos de investigación que buscan el conocimiento; Las empresas quienes serán representadas por las compañías operadoras y de servicios del sector petrolero, encargadas de adquirir el personal y las tecnologías para los procesos y actividades que se requieran; Y el estado colombiano, que se representa a través de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) encargado de regular, supervisar, controlar y fiscalizar las actividades en la cadena de los hidrocarburos en Colombia.

Así, conociendo las funciones de cada actor en la triple hélice, se representarán en la tabla 2 las acciones que cada rol mencionado anteriormente podría tomar para que estos programas y tecnologías propuestos se pudieran llevar a cabo en el país.

Tabla 2*Acciones a tomar por el modelo de la triple hélice*

Propuesta	Industria O&G	Academia	Estado
Drones	<ul style="list-style-type: none"> Adquisición de los drones para el monitoreo de las actividades en las diferentes instalaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Orientar las investigaciones al desarrollo de drones para monitoreo de actividades y posibles mejoras a los modelos ya existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> ANH: Promover rebajas arancelarias a la tecnología o equipos para protección ambiental. ANH: Exigir a las compañías operadoras la identificación temprana de los GEI que se emiten en sus instalaciones y operaciones.
Cámaras Infrarrojas	<ul style="list-style-type: none"> Adquisición de tecnología de cámaras infrarrojas para la detección óptica de fugas y emisiones de GEI. Definición de equipos, válvulas, estaciones, tuberías y accesorios que puedan llegar a tener fugas y emitir GEI a la atmósfera. Incorporar planes de monitoreo y seguimiento en estaciones, válvulas y equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> Promover investigaciones y estudios que logren estimar la reducción de GEI con el uso de las cámaras infrarrojas en la industria petrolera colombiana. 	<ul style="list-style-type: none"> ANH: Promover rebajas arancelarias a la tecnología o equipos para protección ambiental. ANH: Exigir a las compañías operadoras la identificación temprana de los GEI que se emiten en sus instalaciones y operaciones.
Inventario	<ul style="list-style-type: none"> Promover metas de reducción de GEI anuales emitidos en sus actividades. Generar control y planes de acción en las emisiones de GEI que se identificaron por medio del inventario. 	<ul style="list-style-type: none"> Impulsar las investigaciones de trabajos de grado realizando inventarios de GEI con el apoyo de empresas petroleras colombianas. La Tipificación y cuantificación por regiones como tesis de grado de universidades de programas ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> ANH: Promover rebajas arancelarias a la tecnología o equipos ambientales para protección ambiental. ANH: Exigir a las compañías un sistema de cálculo de los GEI que generan en sus actividades. ANH: Exigir un control y plan de acción que busque la reducción de GEI a las compañías.

Continuación tabla 2 (Acciones a tomar por el modelo de la triple hélice)

Propuesta	Industria O&G	Academia	Estado
Propuesta del personal	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de programas que permitan el apoyo de los trabajadores en la reducción de la emisión de GEI. • Uso y desarrollo de estrategias para reducir la huella de carbono empresarial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar las investigaciones a la búsqueda de acciones para disminuir las emisiones de GEI y evaluar cuáles de estos se pueden implementar de forma constante en la industria petrolera colombiana. 	<ul style="list-style-type: none"> • ANH: Promover el desarrollo del plan de acción que busque la reducción de GEI a las compañías. • ANH: Exigir campañas de concientización y planes que ayuden a la disminución de la huella personal de cada trabajador de la industria.
Almacena miento y captura de CO₂	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de suelo en los terrenos propios para evaluar la posibilidad de almacenar en estos hidrocarburos. • Capacitar al personal en el tema de captura de CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> • Promover las investigaciones a estudios de suelo que permitan tipificar los sectores colombianos en los que se pueda almacenar CO₂. • Orientar las investigaciones a buenas prácticas de almacenamiento y captura de CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> • ANH: Promover el desarrollo del plan de acción que busque la reducción de GEI a las compañías. • ANH: Incentivar a las empresas a invertir en procesos de almacenamiento y captura de CO₂.

7. Identificación del impacto positivo que podría generar la aplicación de estas acciones en la industria petrolera colombiana

Tras analizar las acciones que implementaron las empresas a nivel mundial consideradas un éxito para controlar y mitigar sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se identificaron los posibles beneficios que generaría la aplicación de estas en la industria petrolera colombiana,

creando así un cambio de mentalidad e impacto positivo en el país y a su vez, contribuyendo al compromiso adquirido en el Acuerdo de París.

A continuación, se expone cada uno de los beneficios de las propuestas anteriormente mencionadas.

7.1 Beneficio Drones

7.1.1 Económico

- Reducción del transporte del personal a la plataforma.
- Inspeccionar grandes áreas en un periodo de tiempo más corto.
- Evaluar los componentes sin interrumpir las operaciones.

7.1.2 Seguridad física

- Al reducir los viajes a las instalaciones se reduce el riesgo de accidentes de los operarios.
- Escanear componentes de difícil acceso.

7.1.3 Ambiental

- Cumplimiento de la normativa.
- Control de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Monitoreo de las fuentes de emisión de GEI.

7.2 Beneficio Cámaras Infrarrojas

7.2.1 Económico

- Reducción de pérdidas de producto.
- Inspeccionar grandes áreas en un periodo de tiempo más corto.
- Escanear de forma rentable cientos de componentes de forma simultánea.
- Evaluar los componentes sin interrumpir las operaciones.
- Identificar la fuente exacta con fuga en tiempo real, remoto y rápido.

7.2.2 Seguridad física

• Aumento de la seguridad para los trabajadores y operación de instalaciones, previniendo incendios, explosiones y exposición química de trabajadores al detectar las fugas.

- Escanear componentes de difícil acceso desde la distancia.

7.2.3 Ambiental

- Cumplimiento de la normatividad.
- Reducción de la huella ambiental.
- Identificar los equipos o tuberías con fugas en una fase temprana, evitando una mayor emisión de Gases de Efecto Invernadero.

7.3 Beneficio Inventario

7.3.1 Económico

- Oportunidad en la reducción de costos al identificar posibles medidas correctivas en actividades que estén generando altas emisiones de GEI.

7.3.2 Seguridad física

- Identificar que estación está superando los niveles máximos permitidos de emisiones de Gases Efecto Invernadero y puedan afectar la salud de los trabajadores.

7.3.3 Ambiental

- Tener reporte sobre la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera como resultado de las actividades de la empresa.
- Coordinar planes con políticas de mitigación en la actividad que sea necesaria.
- Participar activamente en programas de reporte obligatorio.
- Metas de reducción de GEI anuales.

7.4 Beneficio Programa Personal

7.4.1 Económico

- Oportunidad para la reducción en gastos de combustible.
- Oportunidad para reducir el gasto de servicios varios por parte del personal.

7.4.2 Seguridad física

- Oportunidad para realizar prácticas más conscientes del ambiente y el estado físico del personal.

7.4.3 Ambiental

- Reducción de huella personal de los trabajadores al mismo tiempo que se reduce la de la empresa.
- Control de las emisiones de gases de efecto invernadero de toda la empresa.

7.5 Beneficio Almacenamiento y Captura de Dióxido de Carbono

7.5.1 Económico

- Reusó del dióxido de carbono para otros procesos.
- Oportunidad para la reducción en gasto energético.
- Oportunidad de expansión de las instalaciones de la empresa.

7.5.2 Seguridad física

- Al capturar el dióxido de carbono se purifica el aire al que está expuesto el personal y por ende ellos gozan de una mejor calidad de vida.

7.5.3 Ambiental

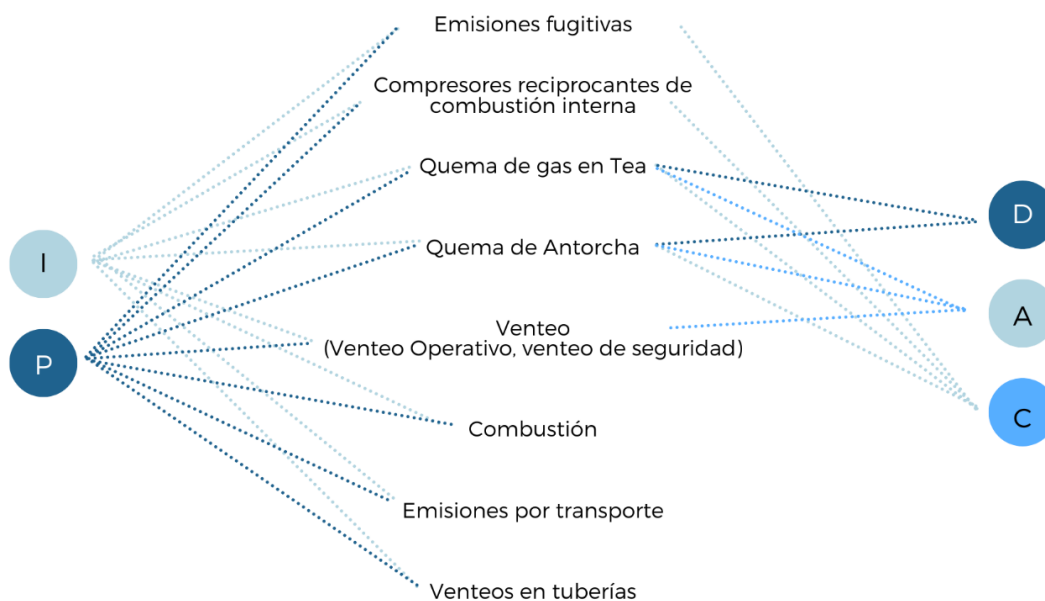
- Control de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Alcance cero en emisiones de dióxido de carbono.

Como parte del análisis de los múltiples beneficios que la aplicación de estas propuestas tendría en la industria petrolera colombiana, se ilustrará con la figura 12 un esquema de cómo estas acciones atacarían las fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector de los hidrocarburos del país.

Se aclara, que en la figura 12 cada una de las letras representa una de las propuestas, siendo así: D (drones), C (cámaras infrarrojas), I (inventario), P (programa del personal), A (almacenamiento y captura de CO₂).

Figura 12

Esquema de acciones por propuesta para atacar las fuentes de emisiones de GEI



Teniendo en cuenta los resultados de la figura 12 y previamente reconociendo los procesos y actividades que generan la emisión de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera en el sector O&G en Colombia, se visualiza como estas acciones propuestas impactarían positivamente atacando de manera directa e indirecta estas fuentes de emisión y a su vez, contribuyendo al compromiso adquirido por Colombia en el Acuerdo de París.

8. Aplicación de la norma internacional ISO26000

La norma internacional ISO 26000 de 2009 pretende ser de utilidad para todo tipo de organizaciones del sector público, privado y no gubernamental, proporcionando orientación sobre los principios que subyacen en la responsabilidad social y tomando estrategias, prácticas y sistemas, enfatizando la importancia de los resultados y mejoras en el desempeño, sea que estén operando en países desarrollados o en desarrollo (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2009).

En la norma ISO 26000 se encuentra el asunto 3 sobre el medioambiente: mitigación del cambio climático y adaptación al mismo, donde se tiene en cuenta la emisión de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera, los cuales son considerados generadores del aumento de temperaturas, eventos climáticos extremos, cambios en ecosistemas entre otros (ISO, 2009).

Teniendo en cuenta que, todas las organizaciones son responsables de emisiones de GEI ya sea de manera directa o indirecta y se verán afectadas de alguna manera por el cambio climático. Existen implicaciones para las organizaciones, en términos de minimizar sus propias emisiones de GEI (mitigación), y en términos de preparaciones para enfrentarse al cambio climático (adaptación) (ISO, 2009, p.70).

Considerando las propuestas analizadas anteriormente y siguiendo algunas de las acciones y expectativas relacionadas a esta norma ISO 26000, en la tabla 3, se tiene que:

Tabla 3*Mitigación y adaptación del Cambio Climático de acuerdo a las propuestas*

Mitigación y Adaptación del Cambio Climático	Acciones propuestas
<ul style="list-style-type: none"> • Medir, registrar y proporcionar información sobre sus emisiones significativa de GEI. • Identificar las fuentes directas e indirectas de emisión de GEI y definir el límite (alcance) de su responsabilidad. 	<p>Los inventarios en las empresas del sector de los hidrocarburos ayudarían significativamente a identificar, medir y registrar los GEI y las fuentes de estos al tener un reporte sobre la cantidad de gases emitidos a la atmósfera como producto de sus actividades.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar medidas para reducir y minimizar de manera progresiva las emisiones directas e indirectas de GEI, que se encuentren dentro de su control o esfera de influencia. 	<p>El uso de las cámaras infrarrojas sería una estrategia fundamental para reducir las emisiones directas en actividades del sector de los hidrocarburos al poder visualizar en tiempo real las fugas y controlarlas con más eficacia y rapidez.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Medir, registrar y proporcionar información sobre sus emisiones significativa de GEI. • Implementar medidas para reducir y minimizar de manera progresiva las emisiones directas e indirectas de GEI, que se encuentren dentro de su control o esfera de influencia. 	<p>Los drones es una estrategia que mientras mide, registra y proporciona información para monitorear las emisiones de los gases ayuda a reducir y minimizarlas, evitando cierres y aperturas de antorchas y turbinas, momentos en los cuales no se regula la cantidad de gas que se emite.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar medidas para reducir y minimizar de manera progresiva las emisiones directas e indirectas de GEI, que se encuentren dentro de su control o esfera de influencia. • Identificar oportunidades para evitar o minimizar daños asociados al cambio climático y beneficiarse de las oportunidades, cuando sea posible, para adaptarse a las condiciones cambiantes. 	<p>El programa de personal busca oportunidades para reducir progresivamente la huella de carbono de la empresa, los trabajadores e incluso asociados, identificando estrategias para mitigar el cambio climático.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Tener como objetivo la neutralidad del carbono, implementando medidas para compensar las emisiones restantes de GEI, por ejemplo, mediante el apoyo a programas fiables de reducción de emisiones que operen de manera transparente, captura y almacenamiento del carbono o secuestro del carbono. 	<p>La captura y Almacenamiento de CO₂, es una propuesta que busca compensar las emisiones de GEI producto de las operaciones de la industria.</p>

9. Conclusiones

La investigación expuesta nos indica que las principales operaciones que generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero son; las emisiones fugitivas, venteo y quema en antorcha en actividades de petróleo y/o gas natural siendo el CO₂, CH₄ y N₂O los principales gases liberados a la atmosfera.

Como consecuencia de la investigación se consideraron las mejores acciones que han implementado las empresas a nivel mundial del sector O&G para la reducción y control de sus Gases de Efecto Invernadero. Teniendo en cuenta los buenos resultados dentro de sus proyectos, se seleccionaron los más exitosos: las cámaras infrarrojas donde se ha llegado reducir 21.420,7 de CO₂ / año en fugas; el inventario, que identifica de manera más eficiente nuevas oportunidades de reducción de emisiones de GEI; los drones que permiten reducir las horas de inspección y monitoreo, el programa de personal que reduce la huella de carbono de la empresa, teniendo en cuenta incluso a sus trabajadores y asociados y finalmente la captura y almacenamiento el CO₂ que permite utilizarlo posteriormente como energía.

Como resultado del análisis y la información recopilada de las acciones aplicadas a nivel mundial para la reducción de los Gases de Efecto Invernadero de la industria petrolera, se consideran aplicables tecnológica, económica y ambientalmente en el sector de los hidrocarburos en Colombia, la propuesta de los inventarios, cámaras infrarrojas, drones, el programa de personal y captura y almacenamiento de CO₂.

Reconociendo todas las acciones expuestas como viables, se concluye la propuesta del inventario como la más favorable para aplicar en las empresas del sector petrolero colombiano, ya que permite realizar un reporte y compilar información sobre las emisiones de GEI, lo que permite generar planes de mitigación; seguida de esta, la propuesta del programa de personal para la reducción de la huella de carbono, teniendo en consideración que ataca todo el espectro del problema y busca que todos los miembros directos e indirectos de la industria cooperen para reducir el cambio climático. Y finalmente dentro de las acciones que involucran tecnologías aplicables a problemas más específicos de la industria tienen mayor favorabilidad los drones y las cámaras infrarrojas ya que permiten una detección temprana de fugas y emisiones.

Frente a la evidencia del estudio realizado se considera que al aplicar en la industria petrolera colombiana las propuestas mencionadas y evaluadas anteriormente, se verían reflejados múltiples beneficios ambientales y económicos para las empresas, contribuyendo así, con el compromiso país, logrando llegar a la meta de reducción de GEI y a su vez mejorando la seguridad de sus instalaciones y trabajadores.

De igual forma podemos deducir que todas las estrategias planteadas ayudan al cumplimiento de la norma ISO 26000 del 2009 en cuanto a mitigación y adaptación del cambio climático, proporcionando información y generando medidas de reducción o compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero; además de ayudar a cumplir metas globales como las expuestas en el Acuerdo de París.

10. Recomendaciones

Orientar futuras investigaciones al cálculo real de las emisiones de gases de efecto invernadero para campos u empresas específicas que quieran utilizar alguna de las propuestas expuestas anteriormente.

Crear planes de acción para el desarrollo de cada propuesta con el fin de orientar a posibles empresas interesadas en la implementación de alguna de las propuestas mencionadas en este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, O. L. (2012). *Evaluación y determinación del factor de emisiones de gases de efecto invernadero (CH₄ y CO₂) en la red de transporte de gas natural de Colombia, aplicando metodología IPCC* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Agencia de Protección Ambiental [EPA]. (s.f.). *United States Environmental Protection Agency*.
https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-06/documents/milliet_2003aiw.pdf
- Agencia Nacional de Hidrocarburos [ANH]. (s.f.). *Portal regionalización*. Upstream:
<https://www.anh.gov.co/portalregionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>
- Borges, J. L. (2011). *Reduciendo las Emisiones de Metano en la Industria del Petróleo y del Gas*.
https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu5/1_Emisiones_de_metano.pdf
- BP Sustainability Report. (2019). *Energy with purpose*. Sustainability Report.
- ChevronTexaco. (2003). *SANGEATM Energy and Emissions Estimating System*. Energy Research and Technology Company. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-06/documents/milliet_2003aiw.pdf
- Conoco Phillips. (2006). *Pilot Study: Optical Leak Detection & Measurement*.
<http://docplayer.net/17797465-Pilot-study-optical-leak-detection-measurement-report-completed-by-terence-trefiak.html>
- Environmental Protection Agency. (2014). *Leak Detection and Repair. A Best Practices Guide*.
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-02/documents/ldarguide.pdf>

ExxonMobil. (2018). *2018 Sustainability Report Highlights*.

García, C., Vallejo, G., Higgins, M. L., y Escobar, E. M. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. WWF-Colombia, Cali.
https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP2_1/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf

IDEAM. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*.
<http://ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

IDEAM. (2015). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*. Bogotá.

Organización Internacional de Normalización. (2009). *Guía de Responsabilidad Social (ISO 26000)*. <https://www.icesi.edu.co/blogs/paoladministradora/files/2012/06/ISO26000.pdf>

Resolución 551 de 2009 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de construcción al desarrollo sostenible del país y procedimiento para la aprobación de proyectos de reducción de emisiones de GEI que optan al mecanismo de Desarrollo Limpio-MDI y se dictan otras disposiciones. Marzo 19 de 2009.

Resolución 18-1495 de 2009 [Ministerio de Minas y Energía]. Por la cual se establecen medidas en materia de Exploración y Explotación de Hidrocarburos. Septiembre 02 de 2009.
<http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/4033207>

Resolución 2153 de 2010 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones. Noviembre 02 de 2010.

<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/a0-Resoluci%C3%B3n%202153%20de%202010%20-%20Ajuste%20Protocolo%20Fuentes%20Fijas.pdf>

Resolución 0802 de 2014 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se modifica la Resolución 909 de 2008 y se adoptan otras disposiciones. Mayo 30 de 2014.

<https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/9b-Resoluci%C3%B3n%20802%20de%202014%20-%20Modifica%20parcialmente%20Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008.pdf>

Revista fabricación. (2019). *Herramientas de detección óptica de gas para el sector del petróleo y el gas*. <https://www.revista-fabricacion.com/technical-articles/23423-herramientas-de-detecci%C3%B3n-%C3%B3ptica-de-gas-para-el-sector-del-petr%C3%B3leo-y-el-gas>

Rodriguez, J. A. (2007). *Capítulo 10. Programas LDAR*. Desarrollo de un programa LDAR para control de emisiones fugitivas en una planta de refinería: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4316/fichero/TOMO+I%252F04-Parte+IV-CAP+10-11.pdf>

Schlumberger. (s.f.). *Oilfield Glossary*. Hidrocarburo: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/h/hydrocarbon#:~:text=Un%20compuesto%20org%C3%A1nico%20natural%2C%20que,como%20gases%2C%20I%C3%ADquidos%20o%20s%C3%B3lidos.&text=El%20petr%C3%B3leo%20es%20una%20mezcla%20compleja%20de%20hidrocarburos>.

SHELL. (2019). *Sustainability Report 2019*. reports.shell.com.

Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (s.f.). *Gases de Efecto Invernadero, GEI*. SIAC: <http://www.siac.gov.co/climaticogei>

The World's Sixth Sense. FLIR. (2020). *Rastreo de fugas de gas: problemas de mantenimiento y seguridad destacados*. <https://www.flir.es/discover/instruments/oil-petrochemical/tracing-gas-leaks-maintenance-and-safety-problems-highlighted/>

World Bank. (2004). *Normas de aplicación voluntaria para la reducción mundial de la quema y venteo de gas*.
<http://documents1.worldbank.org/curated/en/686751468780272317/pdf/295550Voluntar10for0Global00Spanish.pdf>

World Resources Institute. (s.f.). *Protocolo de Gases Efecto Invernadero*. Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte.
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf