

Evaluación de Estrategias Aplicadas en la Refinería de Barrancabermeja para la Disminución de  
Emisiones de CO<sub>2</sub> encaminadas a la Agenda 2030

Julián Camilo Herrera Trespalacios y Héctor Kehoma Díaz Figueroa

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniería de Petróleos

Directora:

Kathy Margarita Daza Brocher

Magister en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Petróleos

Bucaramanga

2022

## Dedicatoria

*El presente trabajo de investigación los dedicamos principalmente a Dios, por inspirarnos y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de nuestros anhelos más deseados.*

*A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes logramos llegar hasta aquí y convertirnos en los que somos. Son los mejores padres.*

*A todas las personas que nos apoyaron e hicieron posible la realización de este trabajo, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.*

## Agradecimiento

*Agradecemos primeramente a Dios por habernos bendecido con la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.*

*Nos van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial nuestras Madres y Padres que con su esfuerzo y dedicación nos ayudaron a culminar esta carrera universitaria y nos dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible*

*También quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander, directivos y profesores por la organización de este programa*

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción .....	11
1. Generalidades del Proyecto.....	14
1.1 Justificación del Proyecto .....	14
1.2 Planteamiento del Problema .....	14
2 Objetivos .....	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
2.3 Alcance .....	17
2.4 Metodología del proyecto .....	18
3 Marco de Referencia .....	19
3.1 Antecedentes .....	19
3.2 Legal .....	24
3.3 Teórico .....	34
3.4 Agenda 2030 para Colombia y su relación con la emisión de CO <sub>2</sub> .....	37
3.5 Emisiones de CO <sub>2</sub> en Colombia y su relación con el hidrocarburo .....	39
3.6 Refinería de Barrancabermeja.....	40
4 Emisiones de CO <sub>2</sub> en la refinería de Barrancabermeja .....	44
4.1 Calderas.....	44
4.2 Caldera pirotubular Indirecta .....	44
4.2.1 Caldera pirotubular Directo.....	46
4.2.2 Cálculo del CO <sub>2</sub> emitido por la caldera.....	47
4.3 Funcionamiento del turbogas.....	47
4.3.1 Cálculo del CO <sub>2</sub> emitido por el turbogas.....	48
4.4 Funcionamiento de regenerador catalizador .....	48
4.4.1 Cálculo del CO <sub>2</sub> emitido por el regenerador catalizador.....	51
4.5 Funcionamiento del quemador Claus.....	51
4.5.1 Etapa Térmica .....	51
4.5.2 Etapa Catalítica. ....	52
4.5.3 Calculo del CO <sub>2</sub> emitido por el Quemador de Claus .....	53
4.6 Funcionamiento de la antorcha .....	53
5 Estudiar el desempeño de la refinería de Barrancabermeja en la reducción de CO <sub>2</sub> con el fin de identificar los resultados alcanzados en el periodo entre 2014 y 2019 al adoptar estrategias en compromiso con la agenda 2030.....	53
5.1 Tratamiento de hidrocarburo líquido .....	54
5.1.1 Topping .....	54
5.1.2 Cracking .....	55
5.1.3 Viscorreductora .....	55
5.1.4 Alquilación .....	56
5.1.5 Especialidades .....	57
5.1.6 Plantas de proceso del tren de Poliolefinas .....	58
5.2 Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en el tratamiento de hidrocarburo líquido.....	59
5.2.1 Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en el topping.....	60
5.2.2 Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en el cracking .....	62

5.2.3	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en la viscorreductoras.....	64
5.2.4	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en la alquilación .....	65
5.2.5	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en las especialidades .....	66
5.2.6	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en el tren de poliolefinas .....	66
5.3	Procesamiento de gas.....	66
5.3.1	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> a la atmosfera en el tratamiento de Gas.....	68
5.3.2	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> en la reducción de azufre .....	68
5.3.3	Planta de absorción de H <sub>2</sub> S por aminas.....	69
5.3.4	Planta de recuperación de azufre (PRA) .....	70
5.3.5	Equipos que emiten CO <sub>2</sub> en la reducción de compuestos orgánicos volátiles (COV)...	71
5.3.6	Recuperación de hidrocarburos .....	72
5.3.7	Destrucción de vapores .....	72
6	Proyección de Emisión Agenda 2030 .....	74
6.1	Agenda 2030 para Colombia y su relación con la emisión de CO <sub>2</sub> .....	77
6.2	Emisiones de CO <sub>2</sub> en Colombia y su relación con el hidrocarburo .....	78
6.3	Modernización de la Refinería de Barrancabermeja.....	81
7	Análisis de las Estrategias.....	89
8	Conclusiones .....	102
9	Recomendaciones .....	104
	Referencias bibliográficas.....	105

**Listado de Tablas**

Tabla 1 Estándares admisibles de Contaminación en el Aire .....	31
Tabla 2 Consecuencias del Cambio Climático .....	34
Tabla 3 Capacidad de la Refinería de Barrancabermeja .....	42
Tabla 4 Unidades de Proceso del Complejo de Barrancabermeja .....	43
Tabla 5 Cálculo del CO <sub>2</sub> Emitido por las Calderas en la Refinería de Barrancabermeja .....	47
Tabla 6 Equipos que Emiten CO <sub>2</sub> en la Refinería de Barrancabermeja en el Tratamiento de Gases .....	74
Tabla 7 Países con las Mayores Emisiones de CO <sub>2</sub> en 2018 .....	79
Tabla 8 Plantas y Equipos de la Refinería de Barrancabermeja con sus Respectivas Capacidades .....	83
Tabla 9 Equipos Nuevos en el Proceso de Modernización en la Refinería de Barrancabermeja .....	85
Tabla 10 Principales Hornos de la Refinería de Barrancabermeja .....	93
Tabla 11 Emisiones de CO <sub>2</sub> en Colombia desde 2010 al 2018.....	99
Tabla 12 Aporte por la Refinerías de CO <sub>2</sub> al ambiente en Colombia.....	100

**Listado de Figuras**

Figura 1 Entes normativos y reguladores para la exploración y explotación de recursos no renovables .....26

Figura 2 Normativa Nacional Ambiental.....29

Figura 3 Emisiones totales proyectadas el año 2030. Departamento Santander.....39

Figura 4 Esquema General de la Refinería de Barrancabermeja .....41

Figura 5 Esquema Caldera Piro tubular .....45

Figura 6 Esquema Caldera Piro tubular .....46

Figura 7 Unidad Turbo Gas .....48

Figura 8 Regenerador Catalizador .....50

Figura 9 Quemador Claus .....52

Figura 10 Proceso de la Planta Topping .....54

Figura 11 Proceso del Cracking.....55

Figura 12 Proceso de la Planta Viscosreductora .....56

Figura 13 Proceso de la Planta de Alquilación .....57

Figura 14 Proceso de la Planta Especialidades .....58

Figura 15 Poliolefinas .....59

Figura 16 Esquema de la Destilación Atmosférica.....60

Figura 17 Esquema de la destilación a vacío .....61

Figura 18 Esquema del Craqueo Catalítico (FCC) .....63

Figura 19 Viscosreductora .....64

Figura 20 Alquilación .....65

Figura 21 Procesamiento del Gas .....68

Figura 22 Endulzamiento y producción de azufre .....70

Figura 23 Unidad de Recuperación de Vapores .....72

Figura 24 Diagrama General de la Antorcha .....73

Figura 25 Estrategia para Aplicar la Agenda 2030.....77

Figura 26 Emisiones CO<sub>2</sub> Toneladas per Cápita 2018.....80

Figura 27 Emisión de CO<sub>2</sub> por el Petróleo 2018.....81

Figura 28 Refinación resumida para las unidades de Topping en GRB .....92

Figura 29 Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono .....95

Figura 30 Emisiones mundiales de GEI conforme a distintos escenarios y la brecha en las emisiones para el 2030 (mediana y rango de percentil 10° a 90°).....96

Figura 31 Emisiones de CO<sub>2</sub> por países.....98

Figura 32 Índice de CO<sub>2</sub> kt al ambiente. Colombia .....99

**Acrónimos y Siglas**

KBPD	Miles de barriles por día
KPCD	Miles de pies cúbicos por día
KPCEH	Miles de pies cúbicos estándar por hora
PSI	Libra por pulgada cuadrada
InH <sub>2</sub> O	Pulgadas de agua
SGEn	Sistema de Gestión Energético

## Resumen

**Título:** Evaluación de estrategias aplicadas en la refinería de Barrancabermeja para la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> encaminadas a la agenda 2030<sup>1\*</sup>

**Autores:** Julian Camilo Herrera Trespalacios y Hector Kehoma Diaz Figueroa<sup>2\*\*</sup>

**Palabras claves:** Petróleo, Refinería, CO<sub>2</sub>, Emisión de gases, Efecto Invernadero, Agenda 2030.

### Descripción:

Hoy en día el crecimiento de la población y con ello el incremento de las necesidades energéticas, obligan a los países a tomar acciones para ir aumentando sus producciones para así resguardar el bienestar de sus ciudadanos, esto ha conllevado a la explotación de los recursos naturales como el petróleo. Como bien se sabe en su estado natural el petróleo es un combustible fósil con muy poco uso, es decir, se necesita de un proceso industrial para su procesamiento, el cual se realiza en las Refinerías. Así que el mundo existe alrededor de 680 de estas industrias especializadas en convertir por procedimientos químicos el petróleo en derivados que tienen variados usos. Por tal motivo la elección de este tema para efectuar la presente investigación, ya que, al evaluar las estrategias aplicada por la Refinería de Barrancabermeja, una de las más grande que posee Colombia se puede brindar una clara visión acerca de cómo han realizado la disminución de CO<sub>2</sub> al ambiente, contribuyendo a la disminución del efecto invernadero, la causa más grave del Calentamiento Global que esta sufriendo el planeta, y así favorecer a cumplir con objetivo que se tiene pautado en la Agenda 2030 transformando a Colombia.

---

<sup>1\*</sup> Trabajo de grado

<sup>2\*\*</sup> Facultad de ingeniería fisicoquímicas. Escuela de petróleos. Directora: MSc. Kathy Margarita Daza Brocher.

### Abstract

**Title:** Evaluation of strategies applied in the Barrancabermeja refinery to reduce CO<sub>2</sub> emissions aimed at the 2030 agenda<sup>3\*</sup>

**Author:** Julian Camilo Herrera Trespalacios y Hector Kehoma Diaz Figueroa<sup>4\*\*</sup>

**Key word:** Refinery, Agenda 2030, CO<sub>2</sub>

#### Description:

Nowadays, the growth of the population and with it the increase in energy needs, force countries to take actions to increase their productions in order to protect the well-being of their citizens, this has led to the exploitation of natural resources such as the oil. As is well known in its natural state, oil is a fossil fuel with very little use, that is, an industrial process is needed for its processing, which is carried out in Refineries. So there are around 680 of these industries in the world specialized in converting petroleum by chemical procedures into derivatives that have various uses. For this reason, the choice of this topic to carry out this research, since, when evaluating the strategies applied by the Barrancabermeja Refinery, one of the largest in Colombia, a clear vision can be provided about how they have made the decrease in CO<sub>2</sub> to the environment, contributing to the reduction of the greenhouse effect, the most serious cause of Global Warming that the planet is suffering, and thus favoring the fulfillment of the objective that is set in the 2030 Agenda, transforming Colombia

---

<sup>3\*</sup> Bachelor Thesis

<sup>4\*\*</sup> Physicochemical Engineering Faculty. Oil school. Director: MSc. Carlos Kathy Margarita Daza Brocher.

## **Introducción**

Hoy en día en la sociedad que se está viviendo, en donde la tecnología ha modernizado una amplia variedad de recursos naturales que son derivados de la litosfera, han contribuido enormemente a la contaminación del ambiente. Desde principio del siglo XX dos nuevos recursos geológicos sustituyeron al carbón como fuente principal de energía, estos fueron el Petróleo y el gas natural, estos recursos geológicos están incluidos en los grupos de recursos no renovables de la tierra, debido a que los procesos geológicos para su formación requieren millones de años.

Además, el petróleo proporciona elementos hidrocarburoados que sirven para sintetizar un sinnúmero de compuestos químicos nuevos, los petroquímicos, que constituyen materiales esenciales en la industria y en la vida actual.

La palabra “petróleo” proviene de las voces latinas *petra* y *oleum*, que significan piedra y aceite, (Porto & Merino, 2013) no porque sea aceite de piedra sino por estar aprisionado entre piedras. Este término abarca toda una gama de productos comprendidos por un lado entre el petróleo bruto y el gas natural, y por el otro, entre el asfalto y otros hidrocarburos saturados semisólidos emparentados con él.

Por consiguiente, las industrias encargadas en el procesamiento de este recurso natural tan importante, son las Refinerías, en ellas a través de procesos químicos se obtienen toda esta gran variedad de derivados que tienen una utilidad muy variada en la vida del ser humano.

Sin embargo, a nivel mundial el crecimiento de las refinerías ha puesto en riesgo las condiciones atmosféricas del planeta, pues ha ido aumentando las emisiones de gases, trayendo como consecuencia el crecimiento del efecto invernadero, que en un principio es un proceso

natural, garante de la vida en el planeta, y que está siendo perturbado por el hombre mediante las actividades de combustión, donde se emplean masivamente combustibles fósiles.

Actualmente, se han discutido y en todo el planeta a nivel de las organizaciones mundiales medidas que intentan disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, que es uno de los gases del efecto invernadero, contemplado en la Resolución 70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (2015), en el objetivo 13 dice “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” reconocen el problema sobre el Cambio Climático, haciendo mención a que se deben tomar todas las medias necesarias para la temperatura en el planeta no sobre pase los 2 °C y que a nivel industrial no debe superar los 1,5 °C.

Colombia, país de Suramérica, en donde existe el compromiso por el resguardo del planeta en cuanto al Cambio Climático, tiene en su Agenda del 2030 Transformando Colombia una meta compartida en su objetivo 13, tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Actualmente no hay experiencias reportadas, pero se sabe que las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria petrolera provienen de la combustión de gas natural en las calderas, hornos, compresores, generadores y motobombas de las inhalaciones industriales. La mayor parte de estas emisiones tienen lugar en las operaciones de producción de crudo, de refinación y procesado de energía; por tal motivo se hace necesario estudiar el impacto en la atmósfera de dichas zonas y la manera de mitigarlos

En la Refinería de Barrancabermeja, la más grande que posee Colombia, existe un Sistema de Gestión Energético, con este se pretende dar el uso adecuado de los equipos industriales para así disminuir su emisión de energía al ambiente y por consiguiente poder controlar la emisión de

gases a la atmosfera, para contribuir con la meta del país de no superar el 1,5 °C de temperatura al 2030.

El presente trabajo de investigación se enfoca en realizar una evaluación de estrategias que ha sido presentadas para hacer cumplir esta meta tan anhelada por todos los gobiernos involucrados en la Organización de la Naciones Unidas, y por consiguiente Colombia ha estado en la vanguardia, realizando pruebas y modernizando equipos de su industria petrolera para mitigar la producción de CO<sub>2</sub>, que es uno de los gases que está involucrado en el efecto invernadero y en consecuencia con el Cambio Climático.

## **1. Generalidades del Proyecto**

### **1.1 Justificación del Proyecto**

Los procesos de refinación y petrofísica corresponden a una fracción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector de los hidrocarburos. Las fuentes de estas emisiones se encuentran concentradas en las dos instalaciones en Colombia que se encargan de estos procesos, entre ellas la refinería de Barrancabermeja, en la cual se han realizado grandes inversiones para mitigar este detrimento al medio ambiente.

Por otro lado, la Agenda 2030 corresponde a un plan internacional creado por la Organización de las Naciones Unidas, al cual Colombia está ligada, con el objetivo de disminuir el daño al medio ambiente y promover el desarrollo sostenible.

Debido a esto se vuelve necesario evaluar si las estrategias implementadas por la refinería de Barrancabermeja en cuanto a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, están alineadas con el objetivo 13 de la Agenda 2030 el cual implica una reducción del 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional para el año 2030.

### **1.2 Planteamiento del Problema**

Partiendo del hecho sobre que El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), junto al vapor de agua y otros gases, es uno de los denominados gases de efecto invernadero (GEI.) y a pesar de que tiene diferentes funciones en el planeta, que hacen posible la vida en la Tierra, las emisiones de CO<sub>2</sub> en exceso pueden generar grandes daños sobre los ecosistemas y la biodiversidad.

También se debe tener en cuenta que estos gases contribuyen a que la Tierra tenga una temperatura tolerable para el desarrollo de la vida. Sin CO<sub>2</sub> ni vapor de agua la temperatura media de la Tierra sería de unos -33°C, del orden de 18°C bajo cero, lo que haría inviable la vida.

Sin embargo, el exceso de emisiones de CO<sub>2</sub> provoca el llamado efecto invernadero, “un fenómeno por el cual ciertos gases retienen parte de la energía emitida por el suelo tras haber sido calentado por la radiación solar. (...) con una elevación de la temperatura” (Merino, 2015, pág. 15). De modo que el problema surge cuando el efecto invernadero se acentúa por la emisión excesiva de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido principalmente a la actividad humana.

Por otro lado, se puede decir que el petróleo es “un hidrocarburo de origen fósil y, uno de los recursos naturales más utilizados como fuente de energía no renovable y materia prima para la elaboración de diversos productos” (Significados.com, 2019, párr. 3). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el petróleo, tal y como se extrae del yacimiento, no tiene una aplicación práctica si no es procesado, ahora bien, ese proceso se realiza mediante una refinería, una instalación industrial en la que se transforma ese petróleo crudo en productos que sí son efectivamente útiles para las personas. A ese conjunto de operaciones que se realizan para conseguir estos productos se les denomina “procesos de refino”.

En Colombia la industria de los combustibles líquidos, comenzó en 1869 con la primera extracción de una muestra de petróleo del Magdalena Medio, en el sector de “La Cira Infantas”, Santander, a sólo 22 kilómetros de Barrancabermeja (hoy convertido en el pozo más antiguo de Colombia)

Por las necesidades energéticas del mercado y los altos costos de operación de las plantas de refinación, hacia 1973 las plantas de Intercol (Cartagena), Colpet (Tibú), Texas (El Guamo), y otras redujeron su eficiencia operacional y cerraron para dejar paso a los actuales sistemas de refinación en Barrancabermeja, Cartagena, Apiay, y Orito.

Ahora bien las emisiones son “todos aquellos materiales, sustancias o formas de energía que se descargan al ambiente como resultado de una actividad, bien sea de origen natural o antrópico” (Rodrigo, Cuervo, Gómez , & Toro, 2001, pág. 15), es decir, que toda actividad realizada produce emisiones como por ejemplo, las erupciones volcánicas, los incendios forestales, la descomposición de la materia y todos los procesos industriales o no creados por el hombre.

Para el año de 2000 las actividades del petróleo y gas natural generaron 7.523,64 GgCO<sub>2</sub>eq, para el año 2004 fue de 4.535,84 GgCO<sub>2</sub>eq (Pulido & Sierra , 2009), aquí se puede apreciar que durante estos años la emisión de gases por parte del área de petróleo disminuyo.

Colombia es uno de los países de América Latina que ha participado activamente en las propuestas emitidas por las Naciones Unidas, pues hoy en día se encuentra en marza un plan de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera hacia el año 2030.

Por los motivos expuestos anteriormente existe el planteamiento de poder evaluar las estrategias que ha aplicado las refinerías, específicamente la de Barrancabermeja del Departamento de Santander, para contribuir con el objetivo de la agenda del 2030 y así reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmosfera.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar las estrategias aplicadas en la refinería de Barrancabermeja para la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> direccionado a la agenda 2030.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Identificar los diferentes equipos y procesos por los cuales se originan las emisiones de CO<sub>2</sub> en la Refinería de Barrancabermeja.

Estudiar el desempeño de la refinería de Barrancabermeja en la reducción de CO<sub>2</sub> con el fin de identificar los resultados alcanzados en el periodo entre 2014 y 2019 al adoptar estrategias en compromiso con la agenda 2030.

Especificar las estrategias y modificaciones puestas en marcha en la Refinería de Barrancabermeja con el propósito de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo comprendido entre 2014 y 2019.

Establecer una proyección para el 2030 de acuerdo con el estudio en el comportamiento de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> para determinar la probabilidad de alcanzar una reducción total del 20% en cumplimiento del objetivo 13 de la Agenda 2030.

### **2.3 Alcance**

A través de este trabajo de investigación se pretenden evaluar las medidas adoptadas por la refinería de Barrancabermeja con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, en el periodo comprendido entre el año 2014 y 2019, con relación al cumplimiento ya sea actual o de acuerdo con proyecciones futuras de las metas estipuladas en la Agenda 2030.

#### **2.4 Metodología del proyecto**

La presente investigación es descriptiva, según Tamayo y Tamayo (2004) la define como. “el registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos”, pues la misma se basa en evaluar las estrategias que se han aplicado en la Refinería Barrancabermeja para contribuir a la emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente y para ello la metodología se basa en el registro, análisis e interpretación de los estudios que se ha realizado para lograr verificar el cumplimiento del objetivo de la agenda 2030 con respecto a la disminución de emisión de gases del efecto invernadero.

### 3 Marco de Referencia

#### 3.1 Antecedentes

En otros países ha sido objeto de estudio las emisiones de CO<sub>2</sub> producto de sus procesos de refinación, mediante el análisis de la eficiencia y procedimientos de los equipos que emiten este gas de efecto invernadero.

En México, se estudió el consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030, se menciona que El propósito de este trabajo es conocer el impacto de consumo de energía por unidad de crudo procesado y las emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando la metodología del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (PICC), en esta investigación se concluyó que de acuerdo con los resultados, el consumo de petrolíferos para los próximos 20 años tenderá a la alta independientemente del desarrollo de tecnologías en energías alternas que se implementen en ese periodo. En especial el consumo de gasolinas implicará un aumento en los niveles de refinación de crudos, lo que, a su vez tendrá un impacto en el tipo de refinería a utilizar que cumpla con todos los requisitos para su viabilidad en términos de costos y demanda del mercado interno. Esto mismo tendrá como consecuencia inherente un aumento en el tipo de emisiones de gases de efecto invernadero producto del mismo proceso de refinación. Investigación realizada por Granados y otros (2015).

En Venezuela, se estudiaron los riesgos ambientales por emisiones atmosféricas en una refinería de petróleo. La intención de reconocer los efectos ambientales según las capacidades de carga de CO<sub>2</sub> y otras emisiones por parte de los equipos de la refinería (Acevedo, Niño, & Ramos, 2010)

En la Federación de Rusia se realizó una evaluación de impacto ambiental y social (EIAS) para la refinería de petróleo (Etapa 1) del complejo petroquímico y de refinación de petróleo TANECO, se da un hincapié importante a las emisiones de CO<sub>2</sub> en términos de eficiencia y optimización.

En términos de proceso los efectos de la composición del gas y los modelos de combustión son un importante eje de análisis para considerar la eficiencia en algunos procesos de la refinería para considerar la carga de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, los estudios del efecto de la composición del gas de refinería sobre las características del proceso de combustión y la evaluación de modelos de combustión para la determinación de la eficiencia en hornos de refinería. (Cala, Meriño, Kafarov, & Saavedra, 2013)

Además del estudio de emisiones, impactos y estrategias realizadas por las refinerías de referencia, también se evalúan múltiples alternativas para compensar la carga de emisiones de CO<sub>2</sub> en la refinería de Barrancabermeja.

Primero, la evaluación experimental de la inyección de gases de combustión de la refinería de Barrancabermeja como método EOR, este documento fue presentado en la conferencia internacional de la SPE sobre captura, almacenamiento y utilización de CO<sub>2</sub>, Nueva Orleans, Luisiana, EE. UU. (La Ossa. JE, *at* el 2010).

Segundo, aprovechamiento de corrientes residuales de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> como alternativa para reducir la huella de carbono de la gerencia refinería de Barrancabermeja, en ese sentido se propone reducir el impacto generado por la refinería (Jímenes, 2012)

Por último, se realizó una evaluación del uso de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como agente neutralizante de las aguas residuales industriales de la gerencia refinería Barrancabermeja Ecopetrol SA. a escala de laboratorio. Estas aguas generalmente presentan un carácter alcalino,

por lo que se hace necesario neutralizarlas para garantizar el buen desempeño de las etapas posteriores del tratamiento. Se determinó que el CO<sub>2</sub> presenta grandes ventajas como agente neutralizante, al aportar estabilidad al proceso, no generar subproductos contaminantes al reaccionar con el agua residual y garantizar rangos óptimos de pH aun cuando se excede su dosificación. Adicional a esto, se propusieron tres alternativas para implementar la neutralización con CO<sub>2</sub>, las cuales fueron: Hacer uso del CO<sub>2</sub> subproducto de la Unidad de generación de Hidrógeno, comprar el suministro de CO<sub>2</sub> a una empresa externa y crear una línea alterna de suministro de CO<sub>2</sub> a PTAR en el desarrollo del proyecto “Captura de CO<sub>2</sub> para la recuperación mejorada de petróleo. (Castro & Mejía, 2015)

Finalmente, la proyección y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> ha sido también obstaculizada por la ilusión de la modernización de la refinería de Barrancabermeja como lo evidencian investigaciones realizadas por la ONG Crudo Transparente. Erg

Seguidamente el estudio de “Eficiencia energética en refinerías de petróleo” (Materán, 2018) para la revista de energía Latinoamérica y el Caribe, enerLAC. En este trabajo se presentan ejemplos documentados de mejoras en el desempeño energético implementadas en diversas refinerías del mundo, destacando el importante consumo de energía que se tiene cada día en este tipo de industria. Así como también, se resalta la importancia de aprovechar las oportunidades específicas de mejora en eficiencia energética en la industria de refinación dentro de un Sistema de Gestión de Energía (SGEn) establecido, siguiendo la metodología y los requisitos expuestos en la estándar norma ISO:50001, siendo aplicable exitosamente en medidas de eficiencia energética para cualquier refinería. Del mismo modo, en este artículo se presentan diferentes áreas importantes de recuperación de la energía, destacando el impacto que tienen los hornos de proceso en las refinerías, ya que de todo el combustible que se usa en las refinerías, los hornos consumen

entre el 60% y 70% de este siendo equipos de mayor consumo significativo. Una de las recomendaciones más importantes que se encuentran para mejorar el desempeño energético de estos equipos de combustión es el control de las variables operativas como lo es el monitoreo de la temperatura con la que entra el flujo de hidrocarburo al horno para disminuir el consumo de combustible. También minimizar el exceso de aire en la combustión, limitando el porcentaje de oxígeno a 2-3%. Este tipo de control operacional es de utilidad para detectar oportunidades de mejoras, teniendo como caso específico la refinería Richmond, de Chevron en California en colaboración con John Zink Co que, desarrollaron quemadores para hornos que reducen notablemente las emisiones de NOx (de 180 ppm a 20 ppm) para ser instalados en los hornos de las unidades de destilación.

La instalación de esta tecnología de punta reveló que se redujeron las emisiones en un 90%, asimismo, ahorrando a la refinería 10\$ millones en costo de capital y 1.5 millones de dólares en costos operativos. En la actualidad, los desarrollos tecnológicos permiten tener a disposición herramientas y equipos más eficientes energéticamente, al tiempo de contar con instrumentación de variables de proceso y registros de históricos de manera más automatizada. Generando esfuerzos por mejorar el desempeño energético de las refinerías a través de unas metodologías sistematizadas con enfoques de mejora continua de los sistemas de gestión energéticos, como lo hace la norma ISO 50001.

Asimismo, se tiene la presentación de un artículo en colaboración por Inerco y Repsol Tarragona, España, el cual presenta la implementación de una novedosa tecnología llamada “Hogar controlado” la cual permite mejorar el desempeño energético en los procesos de combustión en refinerías, abarcando el consumo de combustible y emisiones en calderas y hornos de refinerías. Los fundamentos de esta tecnología se basan en un software de control operacional

avanzado que se ajusta de acuerdo con las 4 condiciones de cada equipo. De acuerdo con lo anterior, esta tecnología se fundamenta en un adecuado control en bucle cerrado de las condiciones locales de combustión dando lugar a lo que se conoce como un escenario de “Hogar controlado”. Previamente en el esquema conceptual se establece una monitorización local de combustión, en la que se desarrolla un análisis energético del equipo en el que se describen las condiciones básicas de diseño y operación y se realiza una caracterización de la línea base para realizar seguimiento y cubrir todos los posibles escenarios operativos en términos de energía. Esta técnica de ajuste y control de variables operativas en procesos de combustión ha arrojado resultados extraordinarios en términos de mejoras de rendimiento energético y reducción de emisiones contaminantes en más de treinta unidades de combustión, incluyendo grandes calderas para la generación de energía y hornos de proceso.

En el trabajo de investigación sobre “Monitorización de indicadores clave energéticos en una unidad de destilación de una refinería de petróleo mediante minería de datos”. Se muestra la aplicación a un horno de combustión de una unidad de destilación, y establece como aporte el proporcionar una mejor comprensión de cómo se está utilizando la energía para ayudar a la toma de decisiones al momento de reducción de costos operativos en la industria mediante sistemas de control operativo de procesos, el cual tiene como objetivo principal mantener el sistema en las condiciones de operación requeridas, de manera eficiente y segura, sin comprometer la calidad de los productos y los requisitos medioambientales. Para llegar a este control operacional, se propone una metodología que consta de dos fases. La primera fase se basa en la construcción de un modelo a partir de una recolección de datos históricos, mediante el uso de diferentes técnicas de minería de datos, como métodos estadísticos de análisis multivariable, técnicas de regresión para predecir indicadores energéticos clave a partir de un conjunto de variables de proceso de una unidad o

equipo, para así proceder a realizar seguimiento energético adecuado. La segunda fase se basa en explotar el modelo establecido para predecir el comportamiento del indicador en variación con el consumo de energía a partir de las variables seleccionadas como relevante durante la fase de construcción del modelo, siendo posible realizar diagnósticos referentes a la variación del consumo de energía, conocimiento de variables responsables en el proceso e identificación de oportunidades de mejora. (Villaba, 2016)

### **3.2 Legal**

Es de mencionar en los informes integrados de gestión en el marco de los ODS al contexto de Ecopetrol S.A. del año 2013, resalta que para esta empresa el cambio climático es un gran desafío, en ese sentido proyecta una estrategia para el ambiente en evolución al equilibrio y respeto por los biomas.

Aparte del importante aporte ambiental que es la mitigación de sus emisiones, la recuperación de efecto invernadero representa beneficios económicos y disminuye los riesgos de la operación en términos sociales y ambientales, lo anterior en línea de cumplir la normatividad vigente y prevista en el corto o mediano plazo para la industria de los hidrocarburos.

En ese sentido, el presente capítulo se adapta al Marco Legal Normativo y Ambiental, respecto a las emisiones de Gases Efecto Invernadero en Colombia. Sin embargo, también se contextualiza con ejes de estudio internacional y los impactos que puede causar el no cumplimiento de esta.

A nivel Colombia la normatividad del ministerio de minas y energía junto con la ANH, ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y corporaciones regionales son las que influyen directamente en la refinería de Barrancabermeja al punto de que pueden hacer un contorno a

aspectos relacionados con las emisiones de CO<sub>2</sub>, como la producción de gas, normas técnicas, procedimientos, etc.

En términos específicos para la refinería se involucran:

Autónoma regional de Santander (CAS), autónoma Regional de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, Autónoma Regional del centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), Corporación autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) y la corporación Autónoma Regional de Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE).

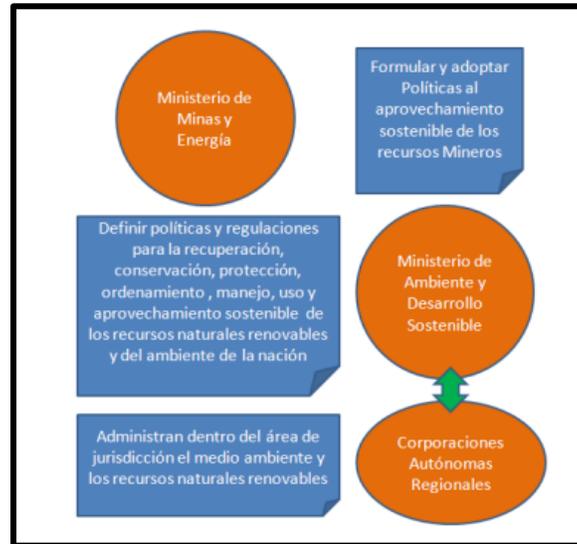
Como se muestra en la Figura 1, el ministerio de Minas y Energía tiene la misión de: “formular e incorporar políticas dirigidas al aprovechamiento sostenible de los recursos mineros y energéticos para contribuir al desarrollo económico y social del país.

Por otro lado, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible funge como rector en la gestión del ambiente y los Recursos Naturales Renovables (RNR), en ese sentido se encarga del ordenamiento ambiental y definición de políticas para su protección, conservación, manejo y ordenamiento de los RNR.

Mientras tanto que las Corporaciones Autónomas Regionales de Colombia como primera autoridad ambiental a nivel regional. Públicos por ley y de carácter territorial, conforman lo que se conoce como una unidad Geopolítica y biogeográfica. Lo anterior implica que si puede funcionar debe regular hacia un sistema complejo en el sentido que delimita estratégicamente las principales interacciones entre los biomas que mantienen las condiciones de generación y reproducción de la vida. Su accionar debe estar en conformidad con las políticas del ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible a su vez que este debe propender conforme a la ley 99 de 1993

**Figura 1**

*Entes normativos y reguladores para la exploración y explotación de recursos no renovables*



*Nota:* tomado de (Sachica, 2015) Plan de Gestión Orientado a la Mitigación de emisiones de gases efecto invernadero en la vicepresidencia regional central de Ecopetrol SA. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160248.pdf>

Se puede revisar una descripción detallada de la normatividad nacional e internacional.

A nivel nacional, desde el ámbito del Ministerio de Minas y Energía (Minenergía), en conjunto con su entidad adscrita la Agencia Nacional de Hidrocarburos, diseñan la normatividad en Explotación de campos de Hidrocarburos. Así mismo, desde el ámbito del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), en conjunto con la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y las Corporaciones Autónomas Regionales que son la primera autoridad ambiental a nivel regional también definen criterios para autorizar las actividades petroleras en su cadena de valor hasta la refinería.

Respecto a la normatividad asociada específicamente al control de emisiones encontramos dos ejes de análisis, el primero, los Derechos Colectivos y del Ambiente, y el segundo, los derechos del Régimen Económico.

- En los derechos Colectivos y del Ambiente, se resaltan control de calidad de bienes y servicios, derecho al ambiente sano, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales y la protección de la integridad del espacio público.
- En los derechos del Régimen económico, se encuentra que el estado colombiano es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, además de la intervención estatal en la economía de los recursos naturales.

Al momento hay múltiples reclamos por parte de las comunidades en zonas de influencia de la industria petrolera, el principal reclamo es el derecho al ambiente sano, sin embargo, estos derechos constitucionales antes mencionados, le proporcionan al Ministerio de Minas y Energía facultades para tomar las disposiciones que crea beneficiosas en búsqueda de la mejor administración de los recursos naturales, tomando como base para esta investigación el gas, por este motivo se presenta a continuación una breve explicación de estos derechos constitucionales

***a) Derechos Colectivos y del Ambiente. Derecho al ambiente sano.***

Con base al Decreto 948 de (1995) sobre el Reglamento de protección y control de la calidad del aire, que reglamenta entorno a control y protección del ambiente se tiene presente el permiso de emisiones para las actividades que causan detrimento del medio ambiente. El soporte de la anterior normatividad se basa en el protocolo de control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas promulgada por Minambiente, (Resolución 760, 2010)

***b) Derechos colectivos y del Ambiente.***

Deber estatal de planificar el manejo y aprovechamiento de recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Como consecuencia se prohíbe la quema de gas y desperdicio o emisión a la atmosfera. Incumplimiento que puede acarrear multas y el cierre de los permisos.

Actualmente la Resolución 18-1495 del 2 de Septiembre de (2009), por la cual se establecen medidas en materia de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, resalta la prohibición de la quema de gas en los siguientes artículos:

**Artículo 52:** Prohibición de Quema de Gas y Desperdicio. Se prohíbe la quema, el desperdicio o emisión de gas a la atmósfera. En toda circunstancia, se deben proveer las facilidades para su utilización, ya sea reinyección al yacimiento o reciclamiento, el almacenamiento subterráneo o en superficie o la comercialización. Se exceptúa el volumen de gas que por razones de seguridad deba quemarse o el gas operacional que sea inviable o antieconómico recuperarlo, en cuyo caso deberá justificarse técnicamente tal situación y aprobarse previamente por el Ministerio de Minas y Energía.

(...) Cuando se efectúen trabajos de mantenimiento o reparación, se presenten fallas o desperfectos mecánicos de equipos de proceso y manejo de gas o de pozos fuera de control, no se requiere de autorización previa, pero se deberá presentar un informe al Ministerio de Minas y Energía cuantificando los problemas operacionales presentados y los volúmenes de gas quemados.

**Artículo 53.** Desperdicio. Se considera desperdicio cuando:

- a) Exista uso ineficiente, excesivo, o se dilapide la energía de los yacimientos;
- b) La perforación de un pozo dentro de un campo dé como resultado una reducción en la cantidad de petróleo o gas último recuperable de un yacimiento, de acuerdo con las buenas prácticas de la industria.
- c) Exista almacenamiento ineficiente de petróleo o gas.
- d) La producción de petróleo o gas exceda la capacidad disponible de facilidades de almacenamiento, tratamiento, transporte y comercialización.
- e) No se utilicen sistemas de levantamiento artificial adecuados, que afecten el recobro último de petróleo o gas.

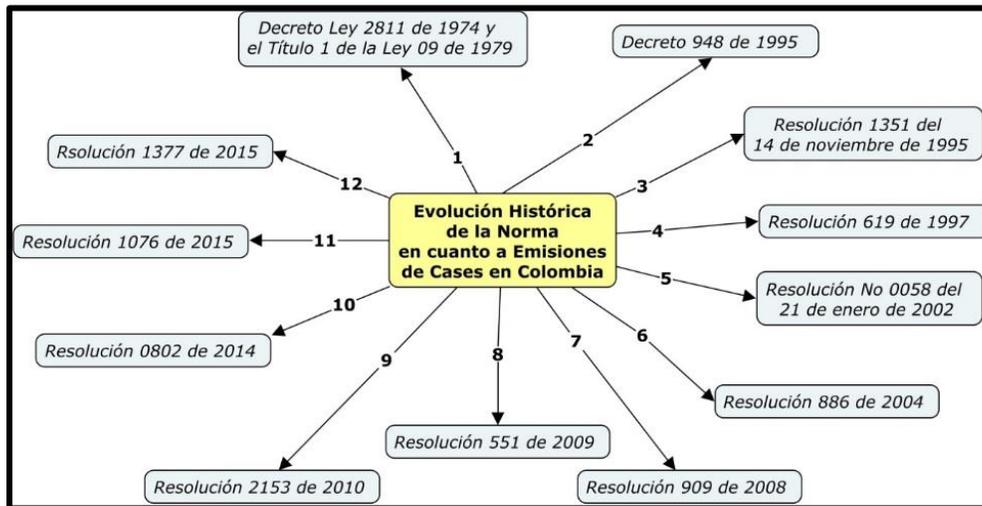
Del anterior artículo se toma como referencia el exceso, actividades petroleras, almacenamiento ineficiente, baja efectividad en la utilización y procesos de los equipos generadores de emisiones atmosféricas, unos muy importante son las baterías de hornos de la

refinería de Barrancabermeja, objeto de estudio de la investigación desarrollado en este documento.

Se presenta a continuación la Figura 2, en donde se presenta una visión general de la Normativa Nacional Ambiental que existe en Colombia para regular las emisiones de gases:

**Figura 2**

*Normativa Nacional Ambiental*



Fuente: Los Autores

La Norma que regula en el ambiente la emisión atmosférica inició en parte con el Decreto Ley 2811 de 1974 y el Título 1 de la Ley 09 de 1979, sin embargo, fue hasta el decreto 948 de 1995 cuando se reglamentó el control y la protección de la calidad del aire, aquí se regulan las normas y principios para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención atmosférica, así la prevención y control y también los instrumentos para los medios de control y vigilancia.

A manera de reporte la resolución 1351 del 14 de noviembre de 1995 estipula la realización de informe de Estado de emisiones, el cual deberá ser entregado a las Corporaciones Autónomas Regionales y los diferentes organismos responsables de carácter ambiental. Así como al responsable de la fuente fija de emisión se le entrega informe

En la Resolución 619 de (1997) Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas y aquí se regula que el sector industrial debe adquirirlos para emisiones superiores a lo citado en el artículo 1 parágrafo 4.1, que dice:

4.1. Industrias, Obras, Actividades o Servicios que cuenten con Calderas y Hornos, cuyo consumo nominal de combustible sea igual o superior a:

A. Carbón Mineral: 500 Kg./hora.

B. Bagazo De Caña: 3.000 Ton/año.

C. 100 galones/hora de cualquier combustible líquido, tales como ACPM, Fuel Oil o Combustóleo, Búnker, petróleo crudo.

Luego se emite la Resolución 886 de (2004) sobre la emisión en incineradores y hornos crematorios y por la cual se modifica parcialmente la Resolución No 0058 del 21 de enero de 2002.

Seguidamente la Resolución 909 de (2008), por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, mientras que en la Resolución 910 de (2008), en donde se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres.

Ahora bien fue en la Resolución 551 de (2009) en donde se adoptaron los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y en la Resolución 552 de (2009) se crea y regula el funcionamiento del comité técnico de mitigación de cambio climático.

En la Resolución 2153 de (2010) se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, que fue adoptado a través de la Resolución 760 de 2010, de igual forma la en la Resolución 1309 de (2010) se modificaron varios artículos de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008. Y finalmente se presenta la Resolución 0802

de (2014). En todas las anteriores resoluciones básicamente se regulo los contaminantes emitidos por materiales, estos son: SO<sub>2</sub>, HF, HCl, NO<sub>x</sub>, HC<sub>T</sub>, así como también, la Neblina acida o SO<sub>3</sub>, Pb, Cd, Cu, Dioxinas y furanos, entre otros.

Se debe tomar en cuenta que en las cromatografías de gas, dichos contaminantes no se encuentran presentes, sino la emisión de Hidrocarburos Totales. El uso de estándares admisibles fue posible por esta resolución, en ella se dita un máximo de 50 g por cada m<sup>3</sup>, o su equivalente que son 50 ppm cuanto se habla de contaminación del ambiente.

Cabe resaltar con la Resolución 2153 de (2010), se establece que las industria, fabricas, empresas debe de informar a la autoridad ambiental competente sobre los procedimientos y resultados obtenidos acerca de la emisiones de gases en fuente fijas, es decir, se debe generar un reporte de emisiones atmosféricas.

En la Resolución 1377 de (2015), por la cual se modifica la Resolución 909 de 2008 y se adoptan otras disposiciones, se estable en el artículo 3 los valores de los estándares de emisiones que se admiten de contaminantes en el aire bajo condiciones de referencia como los son a 25°C, 760mmHg (1 atm), y con oxígeno referencial al 11%. A continuación, se muestran estos valores en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Estándares admisibles de Contaminación en el Aire

<b>Contaminantes</b>	<b>Estándar</b>
HCl	10
HF	1
Hg	0,05
COT	10
Cd + Tl	0,05
Metales	0,5
Dioxinas y Furanos	0,1

Se debe hacer mención que la Resolución llama a Metales a la sumatoria de Arsénico (As), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Vanadio (V), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Antimonio (Sb), Estaño (Sn), Zinc (Zn), además que cuando se habla de Cadmio (Cd) y Tántalo (Tl), se hace referencia también sus compuestos.

En el año (2015) se decreta la Resolución 1076, Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, se cita en esta ley el siguiente artículo:

*Artículo 2.2.5.1.3.17. Prohibición de emisiones riesgosas para la salud humana.* El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en coordinación con el Ministerio de Salud y Protección Social, regulará, controlará o prohibirá, según sea el caso, la emisión de contaminantes que ocasionen altos riesgos para la salud humana, y exigirá la ejecución inmediata de los planes de contingencia y de control de emisiones que se requieran.

En este artículo se muestra como están reguladas y controladas las emisiones de gases y además que existe esta ley que es bastante completa en todos los aspectos que al medio ambiente se refieran.

Así entonces, se puede citar el siguiente artículo que regula los casos de permisos para la explotación petrolera:

*Artículo 2.2.5.1.7.2. Casos que requieren permiso de emisión atmosférica.* Requerirá permiso previo de emisión atmosférica la realización de alguna de las siguientes actividades, obras o servicios, públicos o privados:  
El numeral

j) Refinación y almacenamiento de petróleo y sus derivados; y procesos fabriles pe-troquímicos.

A partir del Artículo 2.2.5.1.7., hasta el Artículo 2.2.5.1.7.16, este decreto regula todo lo concerniente a los permisos de emisión de gases. Esta normativa legal está muy completa en cuanto a permisos, otorgamientos, seguimientos y sanciones.

En cuanto a la *Normativa Legal Internacional*, no se ha establecido aún una normativa que regule todo lo concerniente a emisión de CO<sub>2</sub> en las industrias, sin embargo, algunos dirigentes de varios países preocupados por las manifestaciones que están ocurriendo en el planeta en torno al cambio climático decidieron realizar algunos acuerdos, entre los cuales se pueden mencionar: “Las cumbres de las naciones unidas”, cuya primer conferencia mundial sobre el clima fue en el año de 1972 en Ginebra, la formación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático en 1988, la conferencia de Río de 1992, el protocolo de Kioto de 1997, la conferencia de Copenhague de 2009, y en la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático que se celebró en diciembre de 2015 en París, los 195 países de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) adoptaron el “Acuerdo de París”.

Este Acuerdo establece el objetivo de mantener la temperatura media mundial en este siglo “muy por debajo” de 2°C respecto a niveles preindustriales, comprometiéndose a realizar todos los esfuerzos necesarios para limitar ese aumento a los 1,5°C. Cabe resaltar que Colombia fue uno de los países que firmó este acuerdo.

En cuanto al futuro de los acuerdos internacionales, existe una propuesta por la Unión Europea, pues esta ya comenzó a trabajar realizando la propuesta de una Hoja de Ruta de la Energía para 2050 (Energy Roadmap 2050), en donde se considera la base para avanzar hacia un modelo energético sostenible. Aquí, la Unión Europea intentará reducir los niveles de emisiones en un 80-95% respecto de 1990, esto es un objetivo muy ambicioso, el cual busca la reducción casi total de emisiones, asegurando seguridad de suministro y la competitividad del sector eléctrico. Sin embargo, al observar el panorama actual del mundo, está muy difícil de cumplir este objetivo, no obstante es cierto que quedan bastantes años para tomar medidas necesarias que lo posibiliten su implementación.

### 3.3 Teórico

El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales al que debe enfrentarse hoy en día la humanidad, lo cual conlleva significativas y crecientes repercusiones sociales y económicas. Se podría decir que el origen del cambio climático se debe a la emisión masiva y frecuente a la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero (GEI).

Como se detalla en la Tabla 2, las consecuencias que trae consigo el cambio climático son problemas que afectan a todas las sociedades del mundo incluyendo a Colombia.

**Tabla 2**

*Consecuencias del Cambio Climático*

<b>Consecuencia del Cambio Climático</b>	<b>Descripción de los efectos</b>
Impactos Hídricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retroceso de los glaciares, en los que ya se ha producido una reducción de hielo del 10% desde 1960.</li> <li>• Aumento del nivel del mar como consecuencia del deshielo y del calentamiento marítimo.</li> <li>• La humedad de suelo se reduce, incrementando la aridez y fomentando la desertización.</li> </ul>
Efectos Biológicos sobre el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor intensidad de los fenómenos climáticos, como vientos, precipitaciones y huracanes.</li> <li>• Incremento en las olas de calor.</li> <li>• Impacto en las corrientes marinas, que trastocarían gran parte del panorama climático mundial.</li> <li>• Impacto negativo sobre la biodiversidad con la desaparición de especies animales y vegetales.</li> </ul>
Impacto sobre la Salud Humana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementos de enfermedades (malaria, enfermedades transmitidas por el agua)</li> <li>• Impactos de olas de calor, huracanes, precipitaciones intensas, ciclones, entre otros.</li> </ul>
Impactos Sociales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor pobreza, hambruna, migraciones masivas.</li> </ul>

Fuente: Energía y sociedad. <https://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-1-el-cambio-climatico-y-los-acuerdos-internacionales/>

En Colombia a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el 07 de abril de 2021 se lanzó oficialmente una estrategia denominada “Colombia Carbono Neutral”, se trata de un programa en donde se reconoce e impulsa el esfuerzo de las organizaciones públicas y privadas para motivar a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la misma se planteó con el fin de colaborar para frenar los avances del cambio climático y cumplir con las metas que se plantea Colombia con respecto a este tema.

En ese momento el Ministro de Ambiente, Carlos Correa (2021), manifestó:

Con el programa buscamos promover los compromisos de los diferentes sectores con la meta de carbono neutralidad a 2050; además, potenciar la sostenibilidad de las organizaciones por medio de la gestión de las emisiones de GEI. De igual manera, pretendemos llegar a la ciudadanía a través de una aplicación de cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero individuales, para que cualquier persona, sin importar su condición o conocimiento previo, pueda conocer sus emisiones.

Ahora bien, si hablamos del Departamento de Santander, se puede apreciar en el Plan de Desarrollo “Santander nos Une 2016-2019” en su componente estratégico se consideran importantes acciones para la gestión del cambio climático, de manera explícita incorpora el apoyo al Nodo Regional Norandino de Cambio Climático y acciones de mitigación y adaptación relacionadas con nuevas tecnologías para la gestión integral de los residuos sólidos, optimización de los procesos en la refinería de Barrancabermeja, implementación de fuentes alternativas de energía, la productividad del campo y en general el desarrollo rural sostenible, el control de Enfermedades Transmitidas por Vectores y la construcción de un modelo educativo del Departamento pertinente frente al ecosistema, el cambio climático y la sostenibilidad.

De forma puntual se plantea continuar con estrategias que desde la operación interna del sector se han venido adelantando de forma voluntaria y que consisten en reducir el venteo de gas metano en anulares de pozo, aprovechar el gas venteado o quemado en teas, para generación de

energía eléctrica o para venta e implementar el programa de eficiencia energética en la Refinería de Barrancabermeja.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS), número 13: Acción por el clima, evidencia como ha impactado el cambio climático producto de la alta demanda de carbono en los modos de consumo de la humanidad. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2017):

Las pérdidas anuales promedio causadas solo por catástrofes relacionadas al clima alcanzan los cientos de miles de millones de dólares, sin mencionar el impacto humano de las catástrofes geofísicas, el 91 por ciento de las cuales son relacionadas al clima, y que entre 1998 y 2017 tomaron la vida de 1,3 millones de personas, y dejaron a 4.400 millones heridas. El objetivo busca movilizar US\$ 100.000 millones anualmente hasta 2020, con el fin de abordar las necesidades de los países en desarrollo en cuanto a adaptación al cambio climático e inversión en el desarrollo bajo en carbono.

Cabe decir que la proyección para el 2050 es limitar el calentamiento a 1,5°C, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> deben disminuir en un 45% entre 2010 y 2030, y alcanzar el cero alrededor de 2050. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017)

De acuerdo con la Ley 99 de 1993 los principios de cuidado ambiental son tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. Respecto a lo anterior, el horizonte de la refinería en línea con las orientaciones del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible MinAmbiente, debe significar el avance económico y social del país según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo. En el caso del CO<sub>2</sub> con base en el ODS número 13.

La base legal concibe en el Ministerio del Medio Ambiente el diseño mediante un complejo técnico y político y participación ciudadana dando al Ministerio funciones tales como formular la política nacional en relación con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y

establecer criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio y mares adyacentes. Así mismo, como Ministerio definir las condiciones para el saneamiento ambiental, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas.

Ahora bien, un reto que se le impuso al Ministerio del Medio Ambiente fue “el construir una institución que materialice la misión de propender por el desarrollo sostenible conciliando el desarrollo económico y social (...) a través del diseño de instrumentos de política para cumplir la misión impuesta por ley”. (Cardona, 2002).

### **3.4 Agenda 2030 para Colombia y su relación con la emisión de CO<sub>2</sub>**

Se puede decir que, Colombia es un líder en materia de la disminución y adaptación al cambio climático, pues se trabaja de manera armónica con la comunidad internacional para estar al frente de manera responsable ante los desafíos ambientales en los que se involucra a todo el planeta.

El documento constituye una propuesta para el departamento de Santander de su Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial (PIGCCTS), visto desde una perspectiva positiva al año 2030, cuyo objetivo es contribuir a que el Departamento pueda mejorar su capacidad de adaptarse al aumento de la temperatura media y a la variación en precipitaciones como consecuencia del cambio climático; de igual forma, desarrollar las acciones pertinentes a nivel departamental para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) responsables del calentamiento global, de acuerdo con los compromisos de Colombia adquiridos por la firma del Acuerdo de París.

Se menciona en este documento que la principal causa del calentamiento global, que origina a su vez el cambio climático, es el incremento de la concentración atmosférica de los Gases

de Efecto Invernadero (GEI), que se producen en mayor proporción por las actividades antropogénicas, como la producción de bienes y servicios; extracción y explotación de los recursos; así como el asentamiento poblacional y los hábitos de consumo.

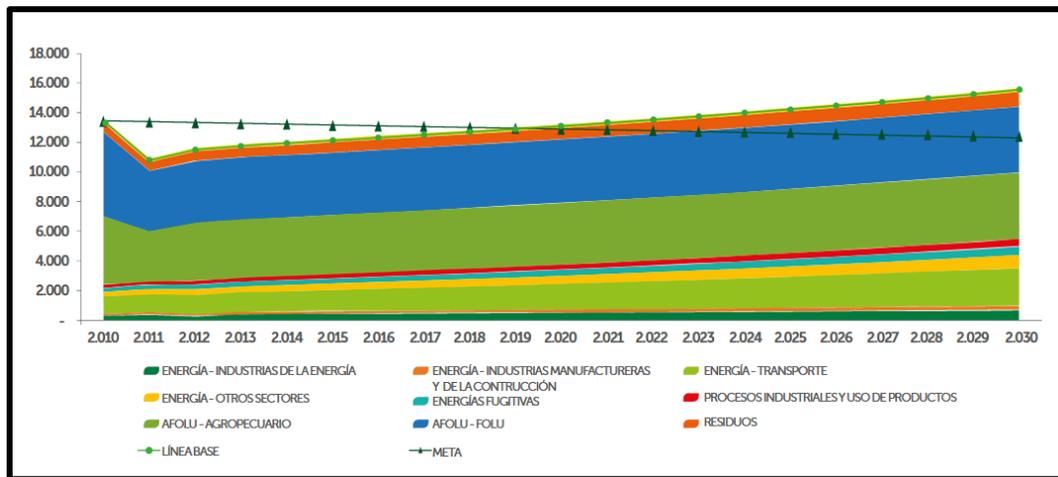
El país se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones de GEI con respecto al valor proyectado para el año 2030, teniendo como línea base el año 2010. Si bien es cierto que el aporte de Colombia en términos de generación de emisiones GEI es del 0,42% con relación al total mundial y considerando el acumulado en el lapso 1990-2012, Colombia se ubica dentro de los 40 países con mayor participación histórica en la producción de GEI, fundamentalmente a causa de la deforestación evidenciada en este tiempo en el territorio nacional.

Este proyecto presenta como Visión: En el 2030 el departamento de Santander, contará con entornos urbanos adaptados y preparados ante eventos climáticos con alta capacidad de resiliencia, donde se integrará la Gobernanza del Agua, energías limpias y elementos verdes como piezas fundamentales del entorno urbano; buscando garantizar el mejoramiento de calidad de vida y el bienestar de sus habitantes, con sistemas eficientes en salud, protección de los recursos naturales y reducción de las emisión de GEI.

A continuación, se muestra la Figura 3 con la proyección de las Emisiones de GEI para el año 2030 en el Departamento de Santander.

**Figura 3**

*Emisiones totales proyectadas el año 2030. Departamento Santander.*



Fuente: Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Santander (2030)

De mantenerse la línea tendencial en el comportamiento de los sectores generadores de Gases de Efecto Invernadero, se esperaría que Santander llegue a tener emisiones proyectadas equivalentes a 15.529 KtCO<sub>2</sub>e al año 2030, lo cual representaría un crecimiento en promedio de 1,9 anual del total de emisiones GEI. Al considerar el mismo porcentaje que el establecido como meta nacional de reducción de emisiones, se esperaría que al 2030 se registraran emisiones totales en el Departamento del orden de 12.423 KtCO<sub>2</sub>e.

### 3.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> en Colombia y su relación con el hidrocarburo

El inventario de emisiones GEI para el sector de minas y energía en Santander, indica que las actividades incluidas generaron 3.524,4 KtCO<sub>2</sub>e, encabezadas estas emisiones por la quema de combustibles en la actividad de autogeneración de energía para la refinación del petróleo, con emisiones estimadas en 2.843,4 KtCO<sub>2</sub>e; la actividad que sigue en aporte de emisiones dentro del sector es la debida a quema de combustibles en las termoeléctricas: Termocentro y Merieléctrica,

que como lo indica XM<sup>41</sup>, en 2012 aportaron 1,1% de la energía para el Sistema Interconectado Nacional.

Las denominadas emisiones fugitivas producto de la operación de teas en las actividades asociadas a procesamiento de gas natural y petróleo, representan el tercer y cuarto lugar dentro de las emisiones GEI identificadas para el sector de minas y energía, sus emisiones son 190,4 y 102,4 KtCO<sub>2</sub>e, respectivamente.

En el programa Sectores minero energético e infraestructura, en la estrategia sobre implementar programas de reducción de emisiones de GEI en las operaciones del sector hidrocarburos en el departamento de Santander, se propone: Implementar el programa de Eficiente de la Energía en la Refinería de Barrancabermeja. Reducir el venteo de gas metano en anulares de pozo, aprovechar el gas venteado o quemado en teas, para generación de energía eléctrica o para venta e implementar el programa de eficiencia energética en la Refinería de Barrancabermeja.

### **3.6 Refinería de Barrancabermeja**

Cada refinería tiene su propio arreglo de procesos de refinación, determinados en gran medida por su ubicación, los productos deseados y consideraciones económicas (James, Glenn, & Mark, 2007)

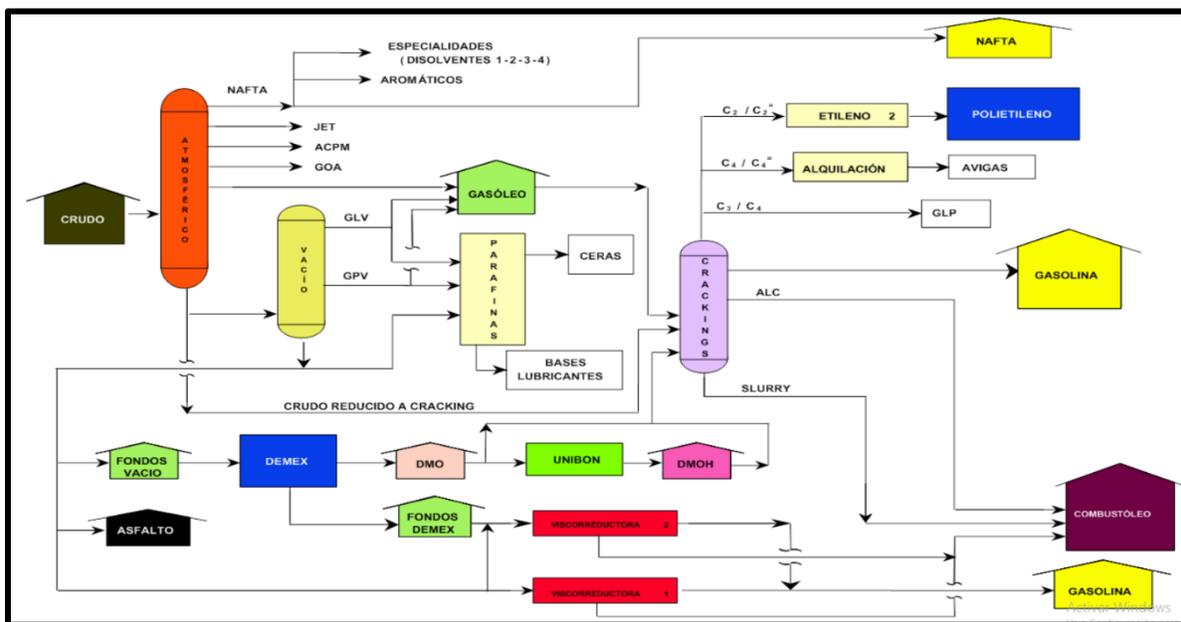
En la actualidad, el país cuenta con las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena (REFICAR S.A., filial de Ecopetrol). Y hay unas pequeñas capacidades instaladas en Apiay y Orito, propiedad de Ecopetrol.

El portafolio de productos derivados de Ecopetrol consiste en tres grupos, según su propia clasificación: • Combustibles (gasolinas, destilados medios, propano -GLP- y combustóleo), • Petroquímicos (disolventes aromáticos y resinas), • Industriales (disolventes alifáticos, bases lubricantes, aceites, parafinas, azufre, ácido sulfúrico y asfaltos).

La refinería de Barrancabermeja es la principal refinería del país, se encuentra en el municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander, tiene una capacidad nominal de carga de 238 KBPD aproximadamente, produce principalmente gasolinas (corriente y extra), bencina, cocinol, diesel, keroseno, JPA, avigas; GLP, combustóleo, ceras parafinitas, bases lubricantes, polietileno de baja densidad, aromáticos, asfaltos, alquilbenceno, ciclohexano y disolventes alifáticos, como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

*Esquema General de la Refinería de Barrancabermeja*



Nota: (Caballero & Higuera , 2015) Tomado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/157727.pdf>

A continuación, en la Tabla 3 se encuentra la capacidad Nominal en la refinería de Barrancabermeja y en la Tabla 4 se muestra las distintas Unidades del proceso presente según la planta a la que pertenece.

**Tabla 3***Capacidad de la Refinería de Barrancabermeja*

<b>Plantas</b>	<b>Capacidad Nominal de la carga</b>
Crudos	238 KBPD
URCS	106 KBPD
Ortoflow	26 KBPD
Modelo IV	17 KBPD
UOP I	28 KBPD
UOP II	35 KBPD
DEMEX	45 KBPD
Viscorreductora	25 KBPD

Fuente: (Bautista, y otros, 2006)

La refinería de Barrancabermeja, se extiende sobre un área de 254 hectáreas, y tiene más de cincuenta modernas plantas y unidades de proceso, tratamiento, servicios y control ambiental. Es la más grande del país y cuenta con una capacidad de carga de más de 238 mil barriles por día (el 75% del total nacional). Está conformada básicamente por unidades de destilación primaria, de ruptura catalítica, polietileno, alquilación, ácido sulfúrico, parafinas, aromáticos y plantas para el procesamiento de residuos, además de otras unidades entre las que se cuentan los sistemas de enfriamiento, los sistemas de recuperación de azufre y de hidrógeno entre otras. El complejo industrial abastece los siguientes productos: gasolina (extra y corriente), Jet-A1, diésel, avigas, gas propano, azufre, ceras, bases lubricantes, polietileno de baja densidad, aromáticos, asfaltos, disolventes alifáticos, y otros.

Con ella se abastece el 55% de los productos que requiere el país. Entre ellos, combustibles líquidos como la gasolina corriente y extra, el diésel corriente, queroseno, bencina, combustóleo, y gasolina de aviación. Además, la refinería produce derivados petroquímicos e industriales como

disolventes, benceno, tolueno, xileno, ceras parafínicas, asfaltos, azufre petroquímico y polietileno de baja densidad.

- URSC: Unidades de ruptura catalíticas.
- La reformación catalítica es un proceso químico utilizado en el refino del petróleo. Es fundamental en la producción de gasolina. Su objetivo es aumentar el número de octano de la nafta pesada obtenida en la destilación atmosférica del crudo. Esto se consigue mediante la transformación de hidrocarburos parafínicos y nafténicos en isoparafínicos y aromáticos. Estas reacciones producen también hidrógeno, un subproducto valioso que se aprovecha en otros procesos de refino. Este proceso se lleva a cabo en unidades diseñadas al efecto y que con frecuencia adoptan nombres registrados. El más extendido es el de Platformado, cuya licencia pertenece a UOP (Universal Oil Products), empresa estadounidense que empezó a comercializarla en 1949.

**Tabla 4**

*Unidades de Proceso del Complejo de Barrancabermeja*

<b>Cantidad</b>	<b>Planta</b>	<b>Capacidad instalada</b>
5	Destilador atmosférico de crudo	235 KBPD
4	Destilador al vacío de crudo	109.0 KBPD
4	Ruptura Catalítica	105 KBPD
2	Viscorreductoras	49 KBPD
1	Demex (desafaltado con solvente)	45 KBPD
1	Unibon (hidrodesulfurización)	22 KBPD
1	Generación de hidrogeno (prod)	14.0 MPCEPD
1	Alquilación (producción avigas)	75 BPD
1	Ácido sulfúrico (producción)	70 TON/D
1	Planta de aromáticos (carga)	11500 BPD
1	Planta de parafinas (bases y ceras)	1770 TON/MES
1	Etileno II (producción)	6840 TON/MES
2	Pilietileno (producción)	5000 TON/MES
1	Planta de especialidades	3000 BPD
3	Recuperadora de azufre (producción)	50 TON/DIA
1	Tratamiento de aguas ácidas	856 GPM

1 Tratamiento de aguas residuales 5500 GPM  
Fuente: (Bautista, y otros, 2006)

El tratamiento de hidrocarburo se divide en 2 grandes secciones, tratamiento de hidrocarburo líquido y gas.

## **4 Emisiones de CO<sub>2</sub> en la refinería de Barrancabermeja**

### **4.1 Calderas**

Una caldera o generador de vapor puede definirse como un equipo que, dentro de sus capacidades genera y entrega vapor en la cantidad, calidad y oportunidad requerida por el usuario final, en forma continua y en operación económica y segura. Las Calderas son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria (Bermúdez, 2005).

Las calderas pueden ser clasificadas según diferentes autores de acuerdo a numerosas variables, como lo son el tipo de combustible, el tipo de transmisión de calor (radiación, convección o mixtas), el tipo de operación (automáticas, semiautomáticas o de operación manual), según su presión de trabajo baja (menores de 20 bar), media (20 a 64 bar) y alta (mayores de 64 bar), calderas de recuperación de calor etc.; pero realmente las calderas se clasifican según la disposición de los fluidos en Acuotubulares (tubos de aguas) y Piro tubulares (tubos de gases), y las variables anteriores son condiciones de construcción y operación de estos dos tipos de generadores de vapor (Borroto, 2005)

### **4.2 Caldera piro tubular Indirecta**

Se denominan piro tubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la

caldera. El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea, como se puede ilustrar en la Figura 5 (Galvis, 2008)

### Figura 5

#### *Esquema Caldera Piro-tubular*



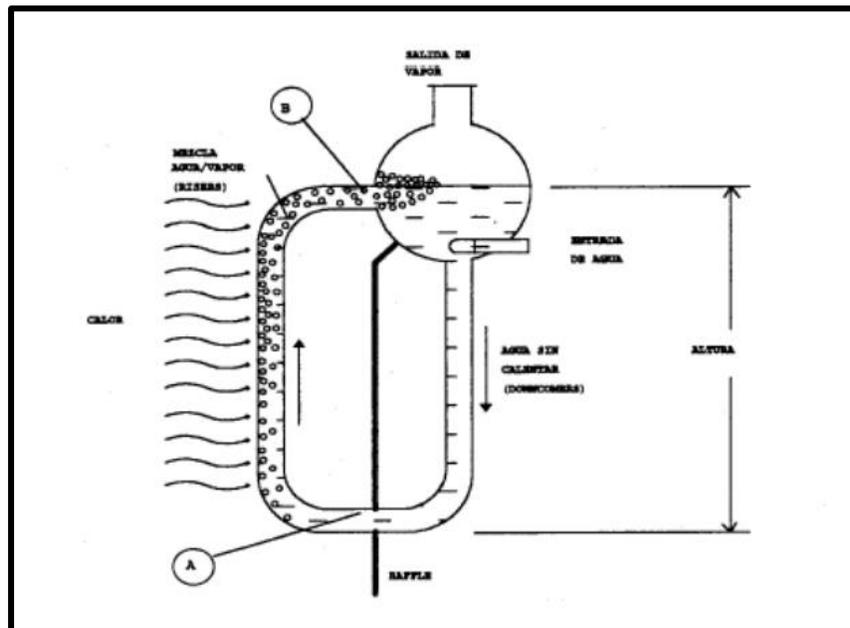
*Nota.* (Galvis, 2008). Tomado de <https://red.uao.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/10614/6105/T04108.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

#### 4.2.1 Caldera pirotubular Directo

En estas calderas, al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través de la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobre calentador, recalentador, economizador, etc. Estas calderas, constan de un hogar configurado por tubos de agua, tubos y refractario, o solamente refractario, en el cual se produce la combustión del combustible y constituyendo la zona de radiación de la caldera. Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado este por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera. Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea, como se puede ilustrar en la Figura 6. (Galvis, 2008)

**Figura 6**

*Esquema Caldera Pirotubular*



*Nota.* (Galvis, 2008). Tomado de <https://red.uao.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/10614/6105/T04108.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**4.2.2 Cálculo del CO<sub>2</sub> emitido por la caldera**

En la Resolución 0934 del 2013 muestra un total de 19 calderas, 14 con capacidad de 2100 KLBH y 5 con capacidad de 1500 KLBH, cuyo combustible es gas natural y según se muestra en la guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del 2011 (Catalunya, 2011), el factor de conversión del gas natural es 2.15 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de gas natural a condiciones estándar, sin embargo, la carga está se encuentra Barriles, a lo cual, el factor de conversión final sería 341.8124 Kg CO<sub>2</sub>/KB de gas natural a condiciones estándar, obteniendo finalmente 12,612,877.56 Kg CO<sub>2</sub>/H, como se muestra en la Tabla 5.

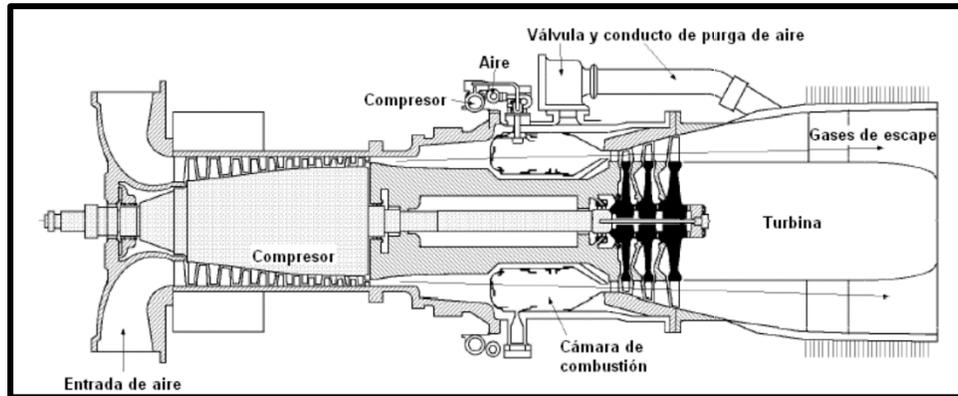
**Tabla 5**

*Cálculo del CO<sub>2</sub> Emitido por las Calderas en la Refinería de Barrancabermeja*

<b>Carga (KLBH)</b>	<b>Factor de conversión (Kg CO<sub>2</sub>/KB gas natural)</b>	<b>Cantidad de equipos</b>	<b>CO<sub>2</sub> (Kg/H)</b>
2100	<b>341,812</b>	14	10,049,284.56
1500		5	2,563,593
		<b>Total</b>	<b>12,612,877.56</b>

**4.3 Funcionamiento del turbogas**

Las Unidades Turbogas están integradas por tres componentes principales: el primero es el compresor, le sigue la cámara de combustión y por último la turbina. Estos tres componentes se encuentran dentro de la carcasa metálica que los envuelve y permite contener los gases dentro del sistema (Sánchez, De Lara, Hernández, & García, 2004) como se observa en la Figura 7.

**Figura 7***Unidad Turbo Gas*

*Nota:* (Sánchez, De Lara, Hernández, & García, 2004). Tomado de <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20611744>

El primer componente en el ciclo de operación de una Unidad Turbogás es el compresor, el cual es el componente encargado de comprimir el aire de entrada a la cámara de combustión, la combustión es la parte del proceso en que se aporta calor al ciclo termodinámico para que posteriormente se transforme en trabajo en el eje y la turbina es un componente mecánico rotatorio que produce energía mecánica por la acción de un fluido de trabajo. La turbina convierte la energía del flujo de los gases calientes en energía mecánica rotacional por medio del proceso de expansión de los gases

#### **4.3.1 Cálculo del CO<sub>2</sub> emitido por el turbogas**

Según se muestra en la Tabla 8, solo se encuentra una unidad de Turbogás, la cual tiene una carga de 3675 KLBH y capacidad de 24 MWH, lo cual genera un total de 1,256,160.57 Kg CO<sub>2</sub>/H.

#### **4.4 Funcionamiento de regenerador catalizador**

Se trata del proceso más utilizado para obtener cadenas de hidrocarburos más cortas, es decir, fracciones más ligeras y con un mayor valor de mercado. Para ello se utiliza calor (reacción

endotérmica) y un catalizador (los más utilizados generalmente son óxidos de silicio y alúmina) y el proceso más utilizado es el craqueo catalítico en lecho fluido, puesto que es el más adecuado para tratar alimentaciones con alta concentración de metales o azufre.

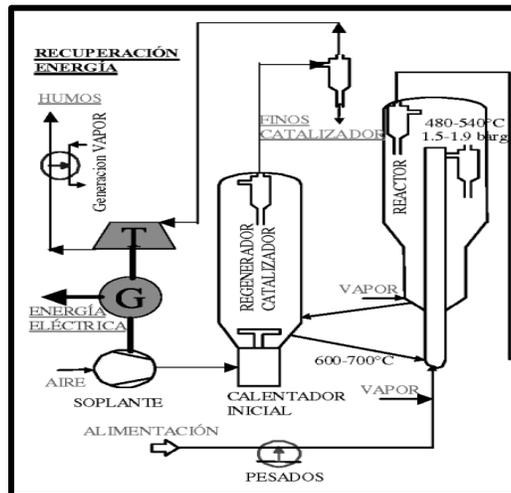
Como alimentación se utilizan hidrocarburos pesados, (gasóleo de vacío y atmosférica y puede recibir gasóleos de visbreaking o coking en pequeñas cantidades), cuyo punto de ebullición es igual o superior a los 315 °C, y convertirlos en hidrocarburos livianos de cadena corta cuyo punto de ebullición se encuentra por debajo de los 221 °C. Los productos obtenidos de este proceso son las naftas, principalmente y otros productos como propano, propileno, butileno, isobutanos y butanos, que pasarán a formar parte de los procesos petroquímicos. Las unidades de crackers incluyen reactores y regeneradores en los que el catalizador se encuentra fluido, realizándose la transferencia a través del flujo arrastrado. Los procesos que se generan son de conversión, de fraccionamiento y de estabilización. Las reacciones que se producen generan una cantidad de carbón (coque) que se deposita sobre la superficie del catalizador y que hay que eliminar. Es por ello que los procesos se desarrollan de forma continua, mediante una circulación de catalizador que entra en contacto con la carga y que se regenera por medio de la combustión del coque producido. Existen varios tipos de regeneradores: regenerador de combustión completa o de regeneración parcial con caldera adicional para la combustión de CO<sub>2</sub>. Ambos se componen de tres partes: (López, 2011)

- Regenerador: donde se regenera el catalizador, mediante la combustión del coque que se deposita en el mismo
- Reactor: donde se produce la mezcla entre los hidrocarburos pesados con el catalizador
- Fraccionador principal: es la torre de destilación donde se van a separar los hidrocarburos ligeros

El proceso consiste en alimentar el reactor con hidrocarburos de bajo valor. En el reactor, al calentar la mezcla y encontrarse con el catalizador, suceden las sucesivas reacciones que los van a convertir en hidrocarburos más ligeros y de mayor valor, que viajan hacia la parte superior del reactor. En esta parte, se separan del catalizador y se desplazan hacia la columna de destilación. Previamente pasa por un stripper, para eliminar con arrastre por vapor los hidrocarburos ligeros adsorbidos en el catalizador. Mientras, el catalizador (“catalizador desactivado”) es enviado hacia el regenerador donde se elimina mediante combustión, al inyectar aire como se muestra en la Figura 8. Este catalizador, queda regenerado y puede, de nuevo, desplazarse al reactor y el ciclo se repite.

**Figura 8**

*Regenerador Catalizador*



Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

Cuando el coque se quema, se producen unos gases denominados “gases de escape” o humo, que salen del regenerador y entra en un sistema constituido por diversas piezas del equipo que eliminan las partículas restantes del catalizador.

#### 4.4.1 Cálculo del CO<sub>2</sub> emitido por el regenerador catalizador

En la Tabla 8 muestra la adquisición de una unidad de coque, cuya carga es de 54 KBPD, donde este último es donde se generan los gases de efecto invernadero y basándose en la tesis doctoral de (Martín, 2005), se obtiene el factor de conversión promedio de 3.36 tCO<sub>2</sub>/t coque quemado. La densidad del coque es 1.96 t/m<sup>3</sup> (Bonilla & Rodríguez, s.f.) y si analizamos la carga y la densidad, resulta en 701.135 ton coque/hora, como se muestra a continuación.

$$54000 \frac{B}{D} * \frac{1D}{24H} * \frac{1m^3}{6.2898B} * 1.96 \frac{ton}{1m^3} = 701.135 \frac{ton}{H}$$

Una vez obtenida la carga con las unidades de tonelada por hora, se procede a determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> expulsada al medio ambiente, obteniendo 2,355,814.17 Kg de CO<sub>2</sub> por hora, este valor es 46.68% mayor que el resultado en el turbo gas.

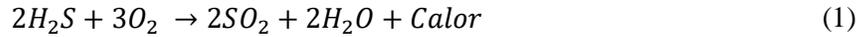
$$701.135 \frac{ton\ coque}{H} * \frac{3.36\ tCO_2}{ton\ coque} * \frac{1000\ Kg}{1\ ton} = 2,355,814.1753 \frac{Kg\ CO_2}{H}$$

### 4.5 Funcionamiento del quemador Claus

El proceso Claus es comúnmente empleado para eliminar el ácido sulfhídrico mediante una conversión de este a azufre elemental. Normalmente del 95 a 97% de ácido sulfhídrico de la corriente de alimentación es convertido en azufre. El proceso Claus se divide en dos etapas: Etapa térmica y Catalítica. (Carmona, 2012)

#### 4.5.1 Etapa Térmica

En la etapa térmica se obtiene el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) necesario para la reacción Claus, como se muestra en la Figura 9, por lo que se requiere quemar un tercio de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico) en un horno a altas temperaturas (600 a 1200°C) y a una presión de 70 kPa empleando aire de acuerdo con la ecuación (1)



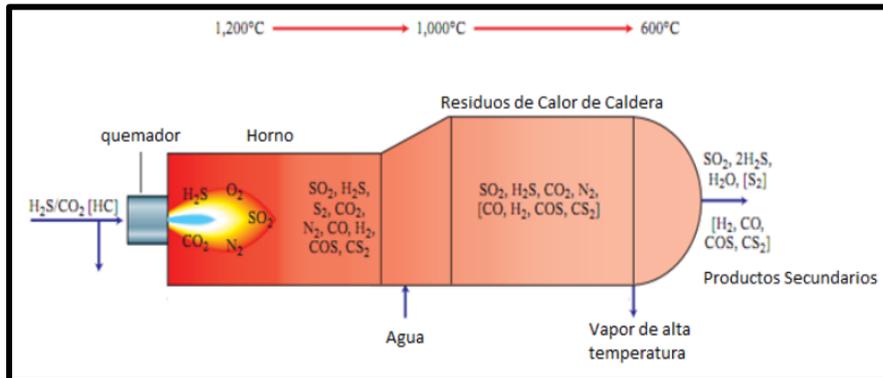
Esta combustión genera una gran cantidad de calor, el cual es recuperado en forma de vapor del horno; aunque la recuperación de azufre se inicia en esta primera etapa, no es posible para una planta Claus transformar todos los compuestos de azufre a azufre elemental debido a que la reacción general (2) representa un equilibrio.



La corriente que sale del horno se alimenta a un condensador donde se separa el azufre del resto de los componentes de la corriente, dicho azufre se condensa y es enviado a un tanque contenedor de azufre, mientras que el resto de los gases son enviados hacia la segunda etapa del proceso denominada catalítica.

**Figura 9**

*Quemador Claus*



Nota. (Carmona, 2012) Tomado de <http://132.248.9.195/ptd2012/octubre/0685051/0685051.pdf>

#### 4.5.2 Etapa Catalítica.

Cuenta con dos reactores de lecho fijo conectados en serie los cuales operan a temperatura que van desde 200 hasta los 315 °C.

Los dos reactores son alimentados con las corrientes que se producen de la reacción anterior, la cual está compuesta por H<sub>2</sub>S (Ácido Sulfhídrico), SO<sub>2</sub> (Dióxido de Azufre), H<sub>2</sub>O (Agua), pequeñas trazas de CS<sub>2</sub> (Disulfuro de Carbono), CO (Monóxido de Carbono), COS (Sulfuro de Carbonilo), e (H<sub>2</sub>) Hidrogeno

Para favorecer aún más el proceso se sugiere mantener las condiciones de las temperaturas estables ya que los aumentos de esta reducen la oxidación del ácido sulfhídrico hasta un 75%.

**4.5.3 *Calculo del CO<sub>2</sub> emitido por el Quemador de Claus***

Al igual que una caldera, el combustible utilizado es gas natural, sin embargo, la carga requerida está a razón de (32.4447/75.57) Kg/m<sup>3</sup> de metano-ácido sulfhídrico (Realpe, 2014). El esquema de las unidades de aminas y Claus (ver Figura 14) y en simultáneo con la Tabla 6, se obtiene una carga para el quemador Claus de 17 KPCH de H<sub>2</sub>S, obteniendo finalmente 206.7 Kg de CO<sub>2</sub> por hora, como se muestra a continuación.

$$17000 \frac{PC \text{ de } H_2S}{H} * \frac{0.2832 \text{ m}^3 \text{ de } H_2S}{10 \text{ PC de } H_2S} * \frac{32.4447 \text{ Kg de } CO_2}{75.57 \text{ m}^3 \text{ de } H_2S} = 206.7 \frac{Kg \text{ } CO_2}{H}$$

**4.6 *Funcionamiento de la antorcha***

La antorcha es un elemento de seguridad cuya función es la de eliminar gases y fluidos fácilmente evaporables que están siendo procesados. En situaciones puntuales de parada en la planta, se queman de forma controlada hidrocarburos gaseosos similares a combustibles domésticos.

**5 Estudiar el desempeño de la refinería de Barrancabermeja en la reducción de CO<sub>2</sub> con el fin de identificar los resultados alcanzados en el periodo entre 2014 y 2019 al adoptar estrategias en compromiso con la agenda 2030.**

## 5.1 Tratamiento de hidrocarburo líquido

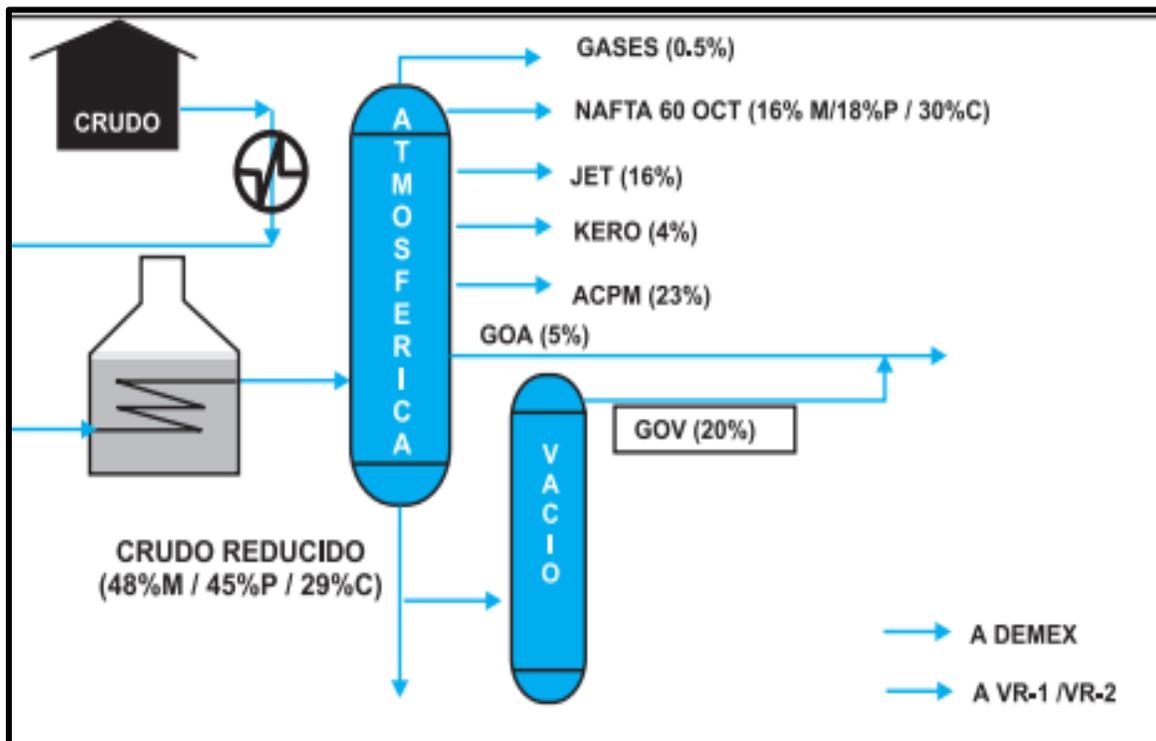
El tratamiento de hidrocarburo líquido para la refinería de Barrancabermeja se divide en 6 secciones: Topping, Cracking, Viscorreductora, Alquilación, Especialidad y Plantas de procesos del tren de Poliolefina (Bautista, y otros, 2006).

### 5.1.1 Topping

Es un proceso de separación del crudo en fracciones por diferencias de punto de ebullición. Consta de una unidad de destilación compuesta por dos secciones, una a presión atmosférica y otra a presión de vacío, como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10**

*Proceso de la Planta Topping*



*Nota.* (Bautista, y otros, 2006) Tomado de

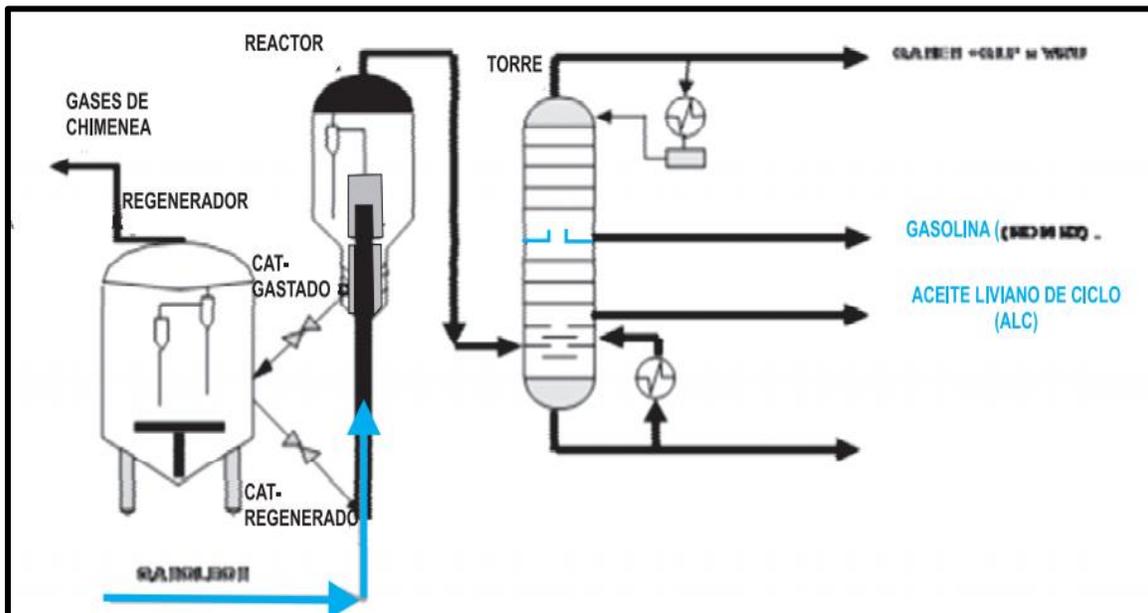
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

### 5.1.2 Cracking

Este proceso se realiza a altas temperaturas para convertir hidrocarburos pesados en hidrocarburos livianos más valiosos utilizando catalizadores que permiten obtener gasolina de alto octanaje y mínimos productos residuales pesados no deseables. La planta consta de una unidad de reacción, una de regeneración y una unidad recuperadora de vapores (VRU) para separar las fracciones livianas, como se muestra en la Figura 11.

**Figura 11**

*Proceso del Cracking*



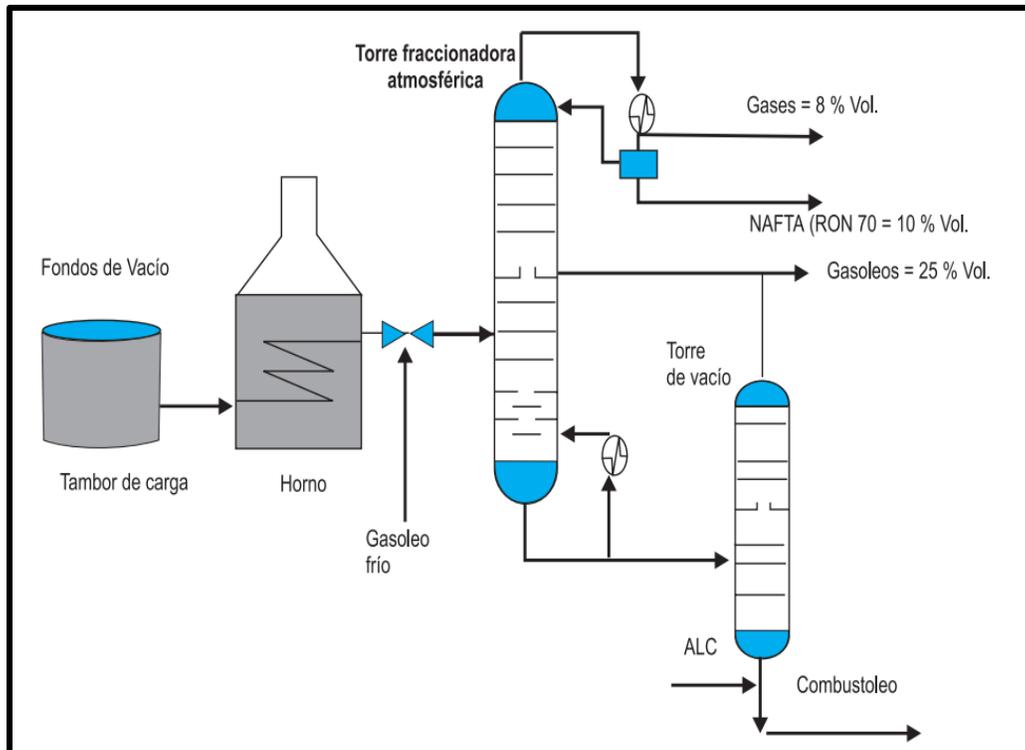
*Nota.* (Bautista, y otros, 2006) Tomado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usq=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usq=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

### 5.1.3 Viscorreductora

Es un proceso de Ruptura Térmica para conversión de fracciones pesadas de hidrocarburos en productos más livianos y de mayor valor, como se muestra en la Figura 12.

**Figura 12**

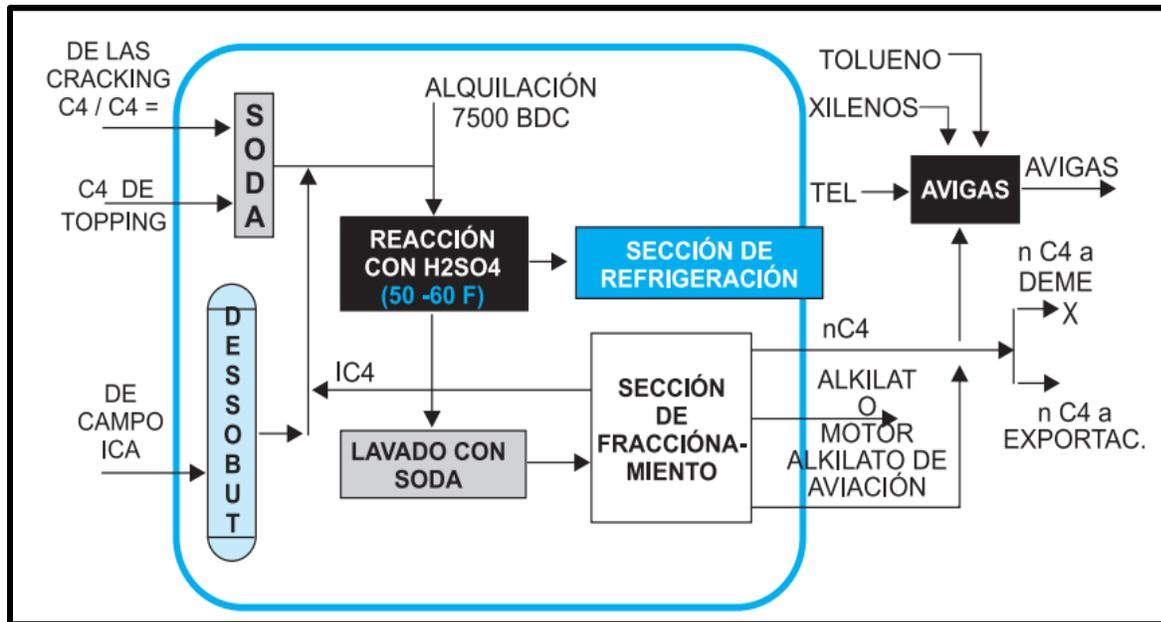
*Proceso de la Planta Viscorreductora*



*Nota.* (Bautista, y otros, 2006) Tomado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

#### 5.1.4 Alquilación

Es un proceso en el cual se utilizan olefinas (Butilenos C4) Iso-Butano (IC4) para formar IsoOctano denominado alquilato, en una reacción que utiliza el ácido sulfúrico como catalizador, como se muestra en la Figura 13.

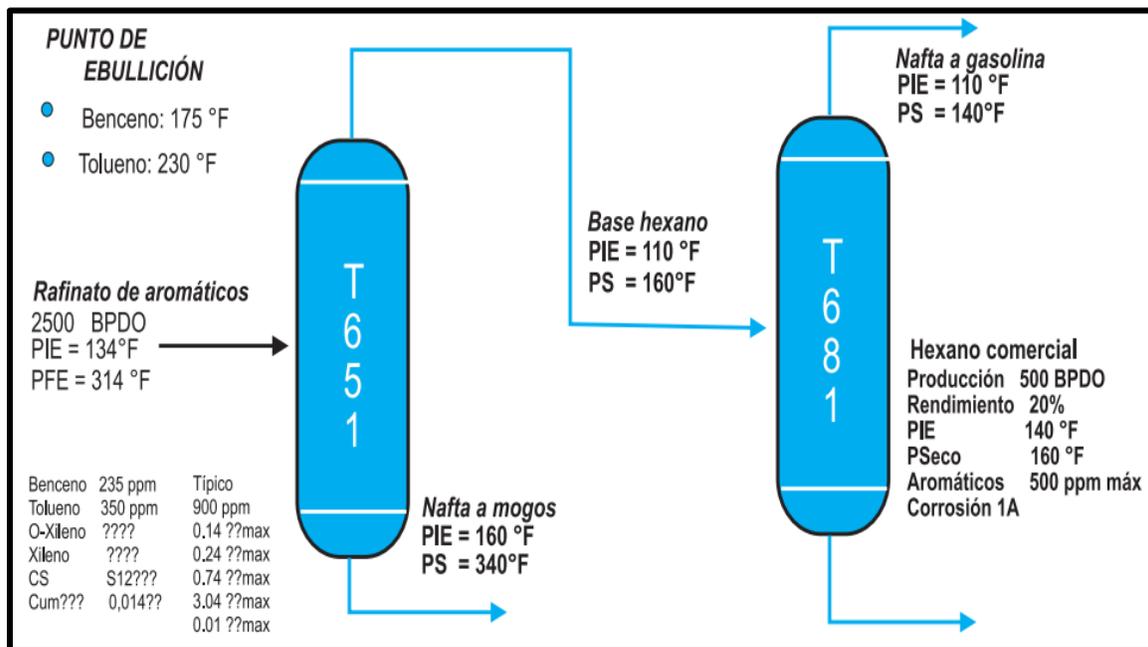
**Figura 13***Proceso de la Planta de Alquilación*

Nota. (Bautista, y otros, 2006) Tomado de

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPOQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPOQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

### 5.1.5 Especialidades

Es un proceso de separación del Refinado de Aromáticos y/o de la nafta virgen, por diferencias de punto de ebullición, para obtener los Disolventes Alifáticos N° 1/2/3/ varsol y hexano comercial. Consta de dos torres fraccionadoras y sus equipos asociados, como se muestra en la Figura 14.

**Figura 14***Proceso de la Planta Especialidades*

*Nota.* (Bautista, y otros, 2006) Tomado de

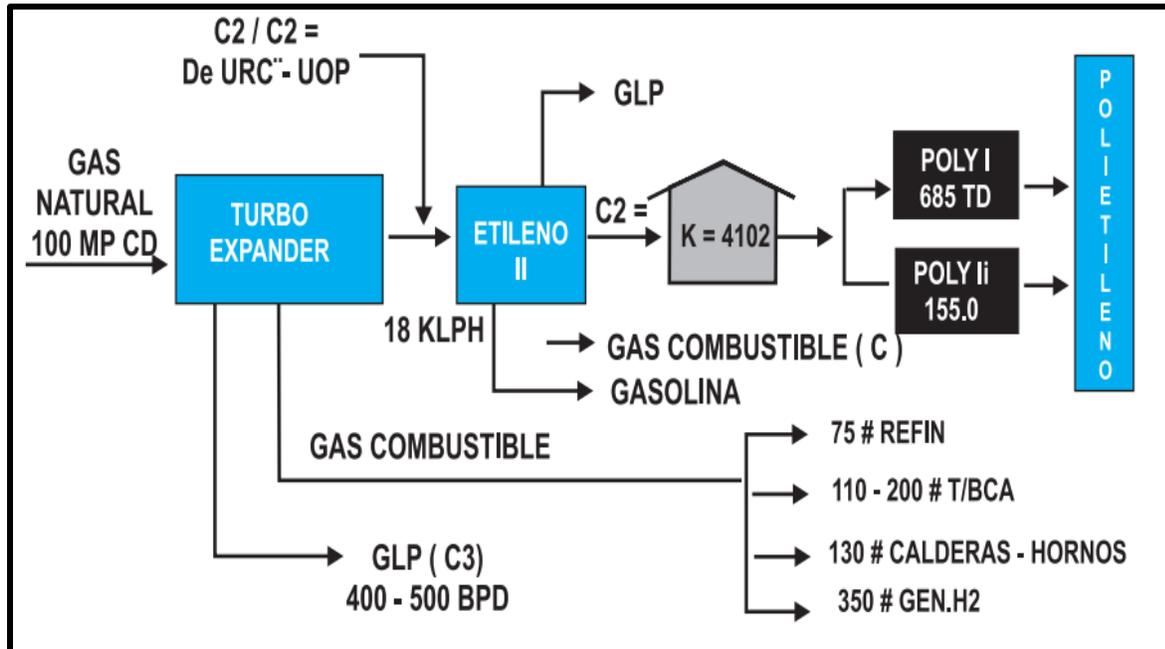
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPOQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPOQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

### 5.1.6 Plantas de proceso del tren de Poliolefinas

- Etileno II se alimenta de la producción de Turboexpander y mediante un proceso de Pirolysis (Craqueo térmico a altas temperaturas) se obtiene el Etileno. También se recibe carga de la Unidades de Cracking Catalítico.
- Polietileno I/II Proceso de Polimerización del Etileno en presencia de Iniciadores de reacción para unir moléculas de Etileno y formar el polietileno, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Polioléfinas



Nota. (Bautista, y otros, 2006) Tomado de

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

## 5.2 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en el tratamiento de hidrocarburo líquido

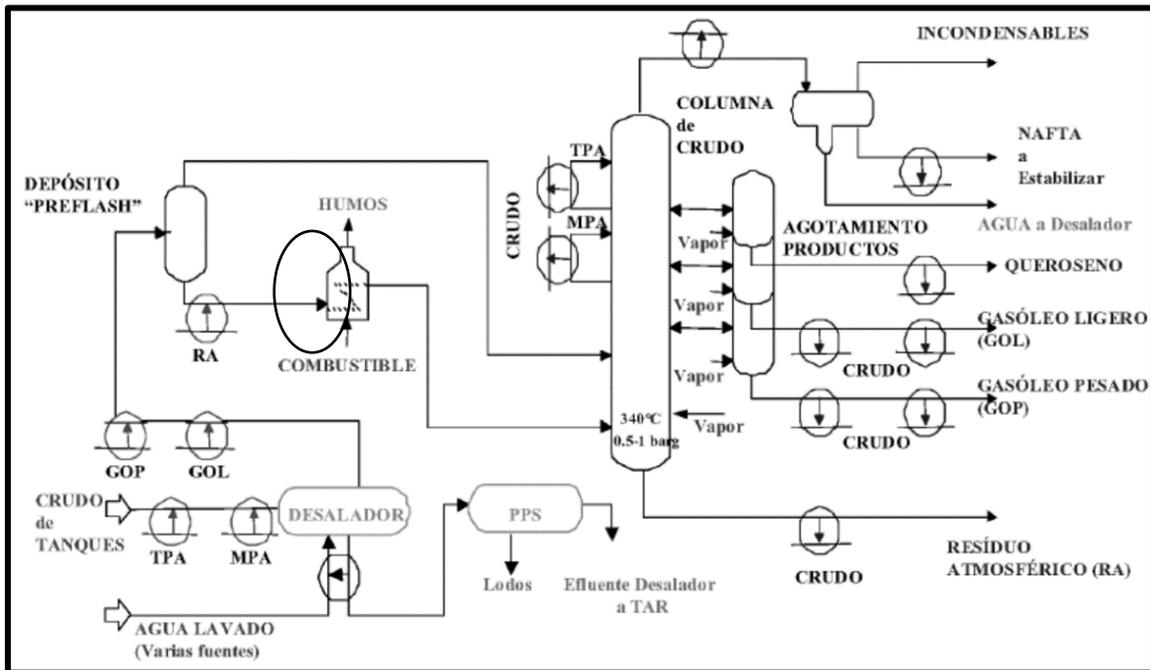
Para que suceda la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, los equipos deben generar combustión, por consiguiente, se analizarán los equipos que requieran combustible fósil para su funcionamiento tanto en el tratamiento de hidrocarburo líquido y procesamiento de gas. Dichos equipos son Calderas de procesos, calderas, turbinas de gas, regenerador del proceso catalítico, antorchas e incineradores (Fundación Labein, 2005)

5.2.1 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en el topping

En la destilación atmosférica es necesario que el crudo sea calentado a 300-400 °C antes de ser introducido al destilador atmosférico, lo cual involucra un proceso de combustión en un Caldera, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Esquema de la Destilación Atmosférica



Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

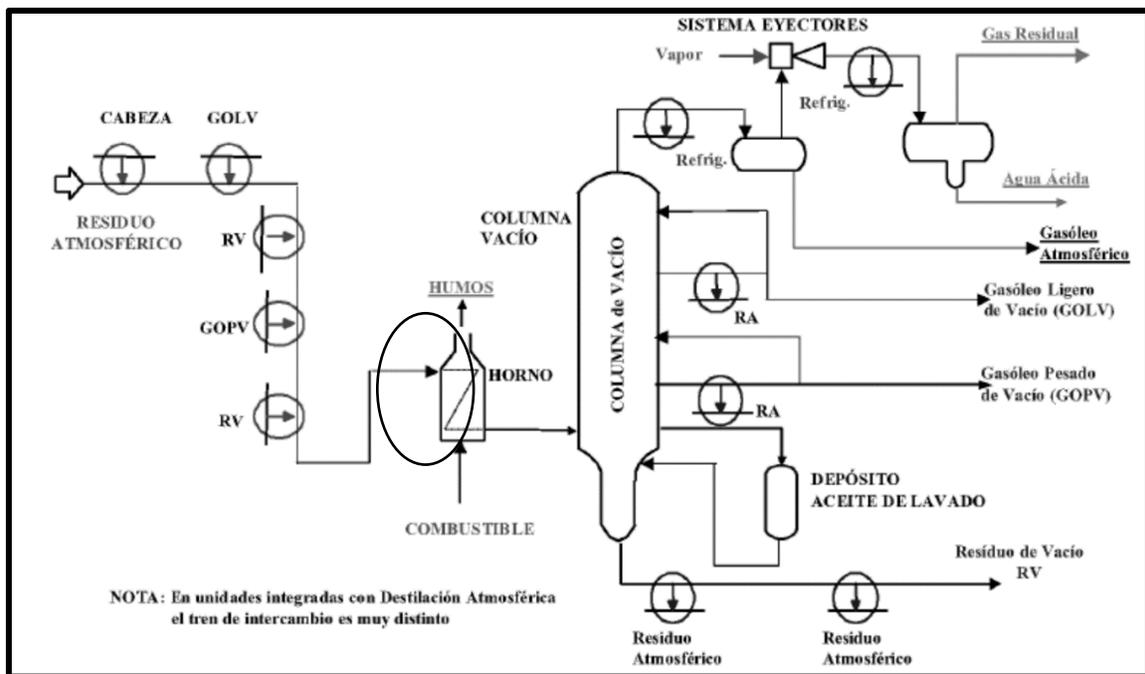
Los residuos provenientes de la zona inferior en la destilación atmosférica (crudo reducido) se deben calentar hasta 380 a 400 °C para introducirlo a la columna de vacío parcialmente vaporizados. La presión de la torre de vacío es de 0,04 a 0,1 bar. Esta reducción en la presión ocasiona una reducción en el punto de ebullición de todas las sustancias presentes en el crudo reducido, generando una evaporización de compuesto que antes (torre de destilación atmosférica) no lograron estar en fase vapor. La reinyección al fondo en la columna de vacío permite reducir

aún más la presión parcial de los componentes, mejorando el proceso de evaporización. La parte no vaporizada, llamada residuo de vacío (RV) se mantiene a 355 °C con la intención de minimizar la formación de coque.

La fase menos densa (los gases) ascienden en la columna de vacío, condensando en 2 se partes: “gasóleo pesado de vacío y gasóleo ligero de vacío”. El vapor de agua y los componentes menos pesados se escapan en la parte superior de la torre, se condensan y “almacenan en un depósito de cabeza los gases, algo de gasóleo y la fase acuosa”. Lo anterior se puede ilustrar en la Figura 17, mostrando el uso de 1 horno.

**Figura 17**

*Esquema de la destilación a vacío*



Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

En la refinería de Barrancabermeja hay 5 destiladores atmosférico y 4 destiladores al vacío, esto permite inferir en 9 Calderas en total, siendo estos los primeros equipos en emitir CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

### ***5.2.2 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en el cracking***

Esta sección es clave en el sistema de refinamiento de crudo junto con la alquilación para la producción de gasolina. Es un proceso catalítico y su finalidad es la obtención de gases oleofílicos y gasolinas provenientes de fases pesadas (gasóleo tanto de vacío como de la viscorreductora, etc.). Opera en fase gaseosa a baja presión, el catalizador cumple función de sólido portador de calor. La reacción ocurre a una temperatura de 500-540 °C y “tiempo de residencia del orden de segundos” (Canales, y otros, 2004)

La conversión de craqueo catalítico genera en las fracciones ligeras compuestos oleofílicos, mientras en los pesados produce compuestos aromáticos.

El craqueo es un proceso endotérmico, obteniendo un balance de calor por combustión en el regenerador catalizador y se transmite, como su nombre lo indica, al catalizador.

Los principales productos obtenidos en este proceso son:

Gases licuados (propano, propileno, butanos, butenos) que pueden ser a su vez cargas a las unidades de MTBE, ETBE, alquilación, dimerización, polimerización tras el endulzamiento y de hidrogenación selectiva.

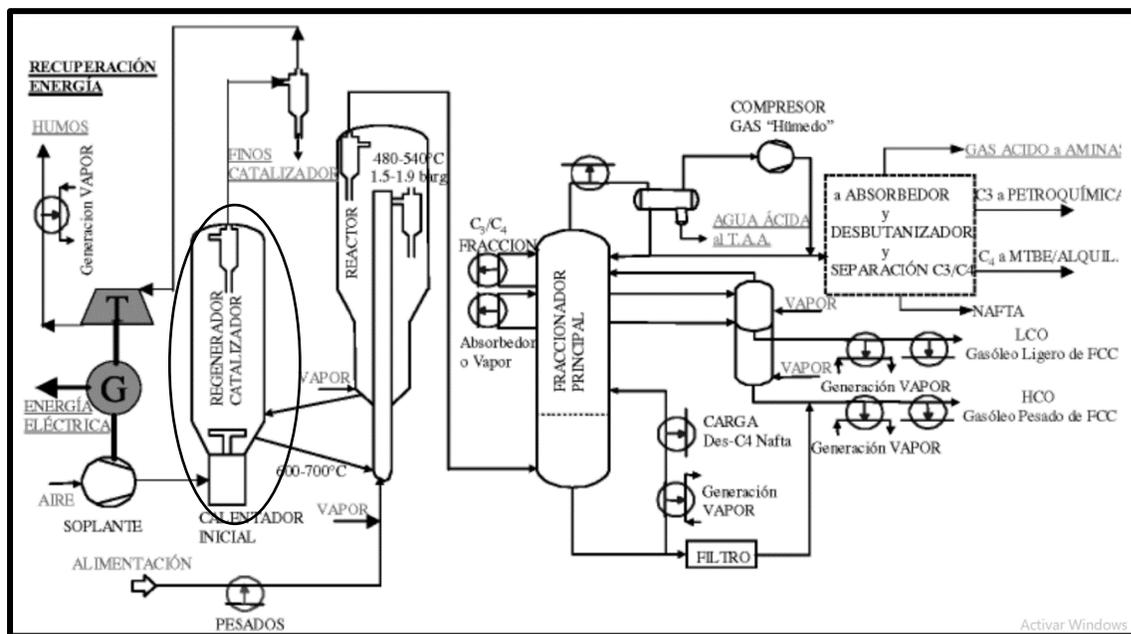
También, gasolinas de buen índice de octano que se envían tras el endulzamiento al tanque de gasolinas. La fracción ligera puede ser eterificada (TAME), la fracción central de peor calidad puede enviarse al reformado catalítico, mientras que la pesada fuertemente aromática y alto número de octano, se envía tanque de gasolinas.

Un corte de destilado ligero (Light Cycle Oil-LCO) parecido al gasóleo, pero de alta aromaticidad y bajo número de cetano”

Los subproductos obtenidos son: Residuos o aceite decantado, el cual suele utilizarse como combustible para la refinería, Gases de refinería y depósitos de coque en el catalizador que se quema en el regenerador. Lo anterior se puede ilustrar en la Figura 11.

**Figura 18**

*Esquema del Craqueo Catalítico (FCC)*



Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

El regenerador catalizador es quien produce los gases de chimenea a alta temperatura, estos gases son aprovechados por una turboexpander, involucrando en una optimización para el uso de gases de chimenea, pues ayuda en el proceso energético al producir la electricidad que requiere el soplante. Como se muestra en la Tabla 2, hay 4 rupturas catalíticas, o sea, cuatro regeneradores catalizadores.

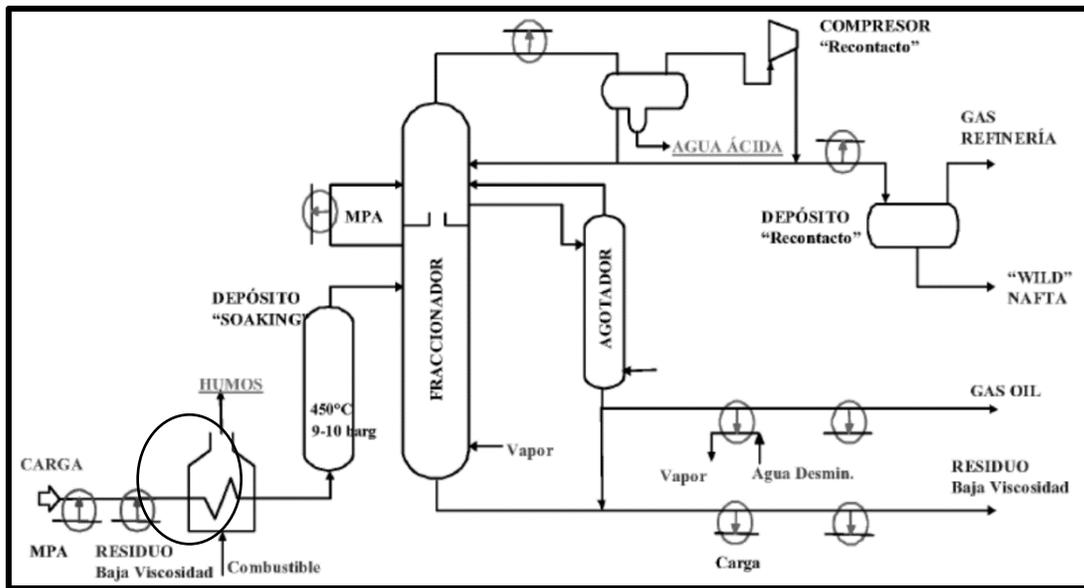
5.2.3 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en la viscorreductoras

Una viscorreductora puede considerarse una moderación al craqueo térmico proveniente del residuo (RV) de la columna de vacío. Su función, tal cual su nombre lo indica, es reducir la viscosidad, evitando la adición de diluyentes ligeros para la producción de fuel oil utilizado industrialmente.

Los productos de conversión de la viscorreductora son inestables, pues son oleofílicos con alto contenido de nitrógeno y azufre, lo cual obliga a aplicar tratamientos de mejora en pro de incorporarse acertadamente a los productos finales, como se muestra en la

**Figura 19**

*Viscorreductora*



Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

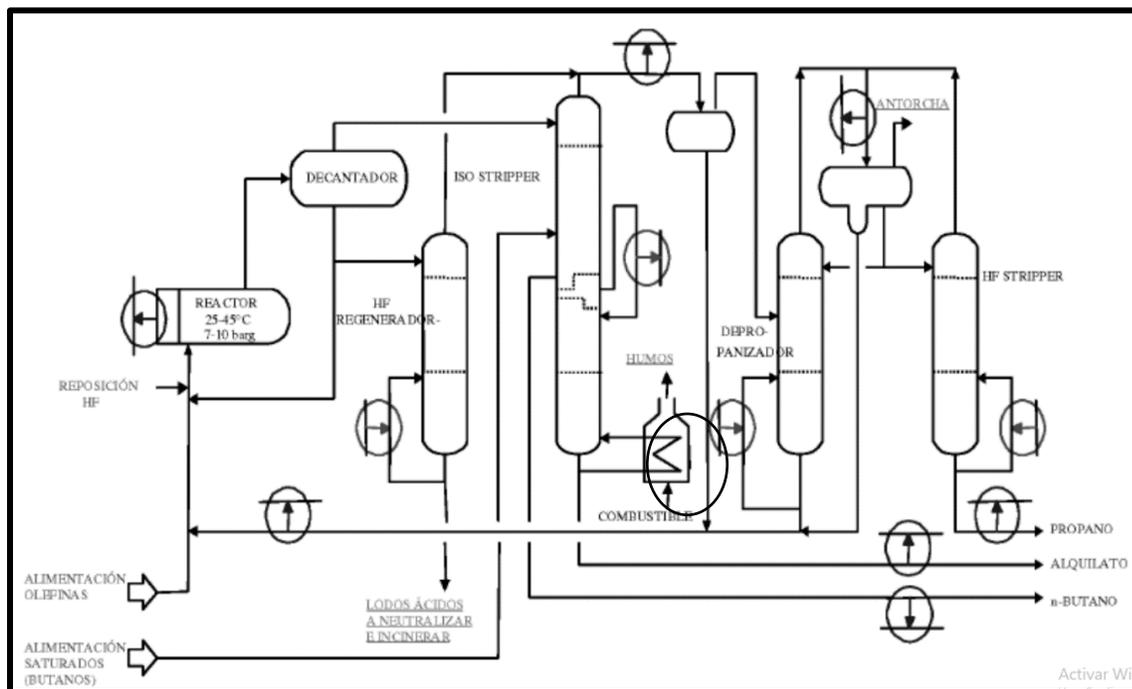
Como se muestra en la anterior imagen, hay un Caldera, sin embargo, se obtiene que hay 2 viscorreductoras, o sea, se encuentran instalados 2 Calderas.

### 5.2.4 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en la alquilación

En esta sección ocurre el proceso que busca obtener componentes para la gasolina con alto rango de octanaje derivados de olefinas ligeras (C3, C4 y C5) por adición de isobutano, logrando alcanzar isoparafinas de entre 7 y 8 átomos de carbono, además de poseer muy buenas propiedades antidetonantes. Dado la alquilación ocurre en reacciones exotérmicas, se hace necesario catalizarlo, para lo cual se usan ácidos sulfúricos y ácido sulfhídrico. El proceso de la alquilación se ilustra en la Figura 20.

**Figura 20**

*Alquilación*



Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

La carga proviene normalmente del craqueo catalítico, a veces del craqueo con vapor en aquellas plantas que tiene integrada la producción de olefinas Isoparafinas, o alquilato con alto grado de octanaje son los compuestos que reaccionan, obteniendo n-parafinas de baja reactividad.

Como se muestra en la Figura 20, hay un solo Caldera en esta sección, solo hay una planta de alquilación, por lo cual se obtiene un equipo que emite CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

**5.2.5 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en las especialidades**

Según se muestra en la Figura 6, no se utiliza Calderas, calderas, turbo gas o elemento que reacciones con el metano produciendo CO<sub>2</sub>, por lo cual se concluye que esta sección no participará más en el análisis de la presente investigación.

**5.2.6 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmosfera en el tren de poliolefinas**

Según se muestra en la Figura 7, se utiliza una turbo expander, la cual requiere que el gas sea calentado para que se pueda generar el trabajo necesario, por ende, es de esperar que se use un Caldera. En la Tabla 6 se resume lo realizado hasta el momento.

**Tabla 6.**

*Equipos que emiten CO<sub>2</sub> en la refinería de Barrancabermeja en el tratamiento de hidrocarburo líquido*

Fase	Equipo	Cantidad
Topping	Caldera	9
Cracking	Regenerador catalizador	4
Viscorreductora	Caldera	2
Alquilación	Caldera	1
Especialidad	---	---
Tren de poliolefina	Caldera	1

**5.3 Procesamiento de gas**

Su procesamiento consiste principalmente en:

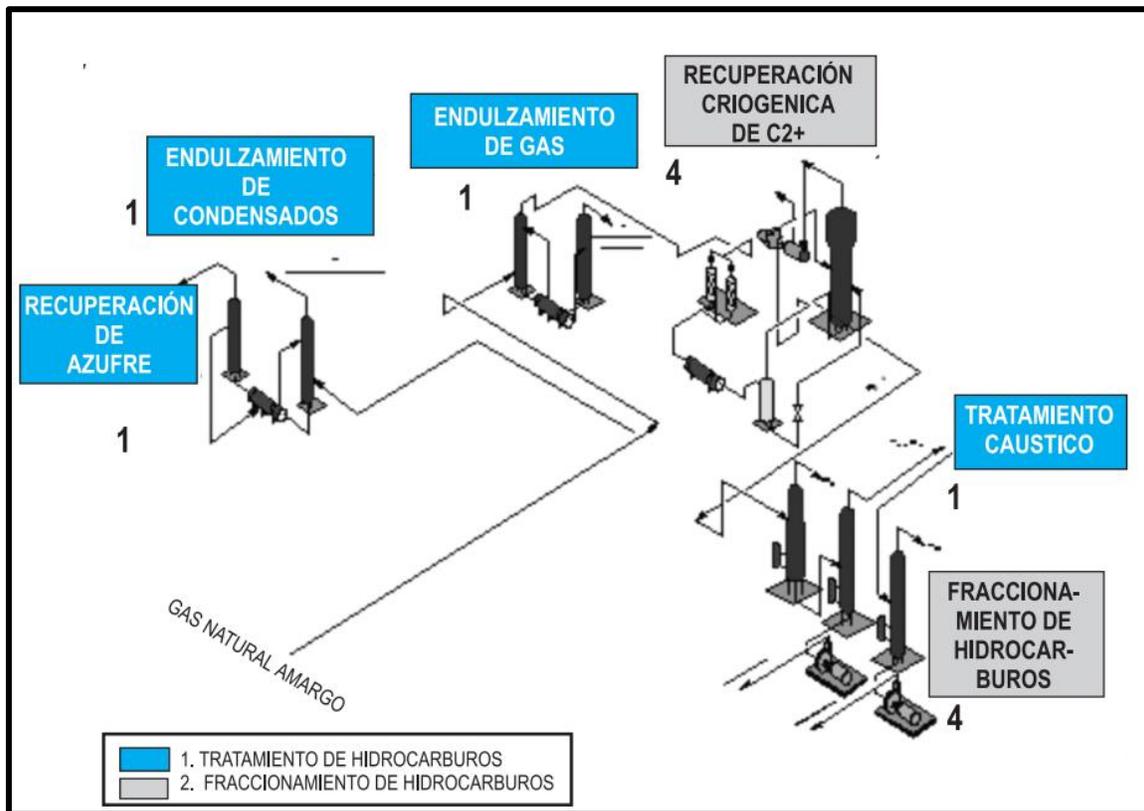
- a) La eliminación de compuestos ácidos (H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>) mediante el uso de tecnologías que se basan en sistemas de absorción-agotamiento utilizando un solvente selectivo. El gas

alimentado se denomina “amargo”, el producto “gas dulce” y el proceso se conoce generalmente como “endulzamiento.

- b) La recuperación de etano e hidrocarburos licuables mediante procesos criogénicos (uso de bajas temperaturas para la generación de un líquido separable por destilación fraccionada) previo proceso de deshidratación para evitar la formación de sólidos.
- c) Recuperación del azufre de los gases ácidos que se generan durante el proceso de endulzamiento. Fraccionamiento de los hidrocarburos líquidos recuperados, obteniendo corrientes ricas en etano, propano, butanos y gasolina; en ocasiones también resulta conveniente separar el isobutano del n-butano para usos muy específicos, como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Procesamiento del Gas



Nota. (Bautista, y otros, 2006) Tomado de

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK EwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)

### 5.3.1 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera en el tratamiento de Gas

El tratamiento de gases tiene presente la sección de reducción de azufre y reducción de compuestos orgánicos volátiles (COV).

### 5.3.2 Equipos que emiten CO<sub>2</sub> en la reducción de azufre

Una gran parte del azufre introducido en la refinería al interior del crudo se elimina en la refinación y posteriormente se capta en forma de azufre elemental. Distintos procesos al interior del refino transforman el azufre orgánico en el compuesto H<sub>2</sub>S; como acción de reacciones térmicas o en unidades de hidrotratamiento. Sin embargo, siempre hay dos fases en la recuperación

de azufre: “Separar el H<sub>2</sub>S formado de la corriente hidrocarbonada y transformación de H<sub>2</sub>S en azufre elemental” (Canales, y otros, 2004)

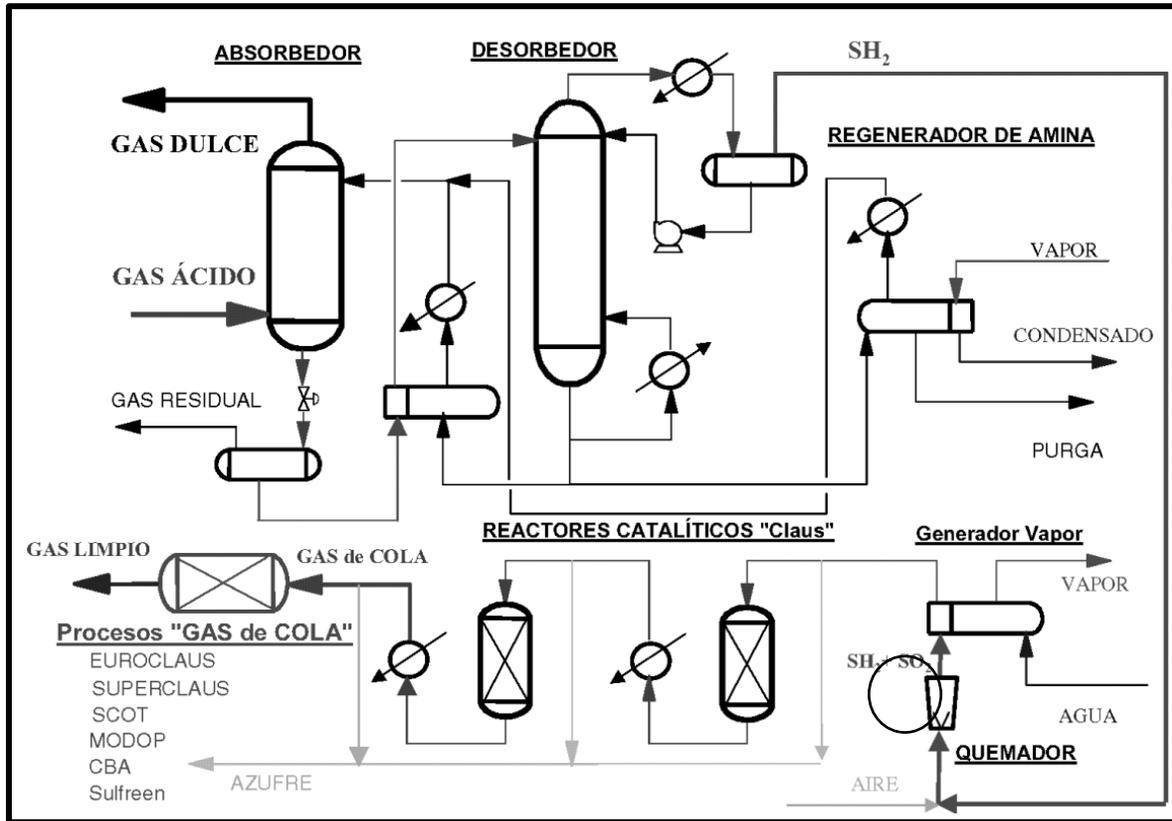
### 5.3.3 *Planta de absorción de H<sub>2</sub>S por aminas*

La función de las aminas es depurar cualquier contracorriente del H<sub>2</sub>S y distintitos gases tipo ácidos. Habitualmente, el gas a tratar es hidrogeno, metano y etano, cuya finalidad principal es ser el gas de combustible en la refinería.

Normalmente se distribuye en “torre de absorción y sistema de regeneración de aminas” El disolvente para usar es bombeado a la torre de absorción en contracorriente al gas, entrando en contacto ambos y disolviendo el H<sub>2</sub>S. El gas, ahora denominado gas dulce (20-200 mg de H<sub>2</sub>S/Nm<sup>3</sup>), es utilizado en Calderas y otros elementos de la refinería donde se requiera. El disolvente con H<sub>2</sub>S debe retornar con muy bajo contenido de ácido sulfhídrico, por lo cual se elimina el componente ácido mediante calentamiento-agotamiento por inyección de vapor, retornando a la torre de adsorción ya como disolvente apto para adsorber H<sub>2</sub>S. Lo anterior se ilustra en la Figura 22, sección superior. Hay distintas aminas que se usan para el endulzamiento, como son la MEA, DEA, DGA, DIPA y MDEA (Canales, y otros, 2004)

Figura 22

Endulzamiento y producción de azufre

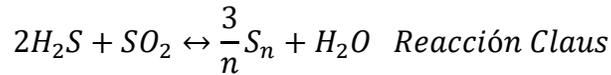
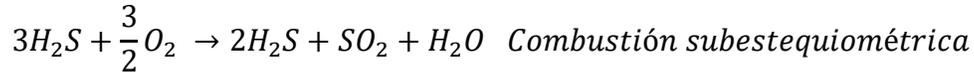


Nota: (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

### 5.3.4 Planta de recuperación de azufre (PRA)

Entre los procesos que hay para la oxidación de H<sub>2</sub>S se encuentra el “Proceso Claus”, siendo este el más utilizado en el refino por su gran aplicabilidad para grandes cantidades.

El proceso Claus comienza con una combustión parcial del H<sub>2</sub>S en un quemador especial con ayuda del aire como comburente, presentando especial cuidado con respecto a las proporciones entre elementos de la combustión. Esta reacción es exotérmica, por consiguiente se aprovecha dicha energía térmica “en la producción de vapor de agua de media presión” (Canales, y otros, 2004). Las reacciones que se llevan a cabo se ilustran a continuación.



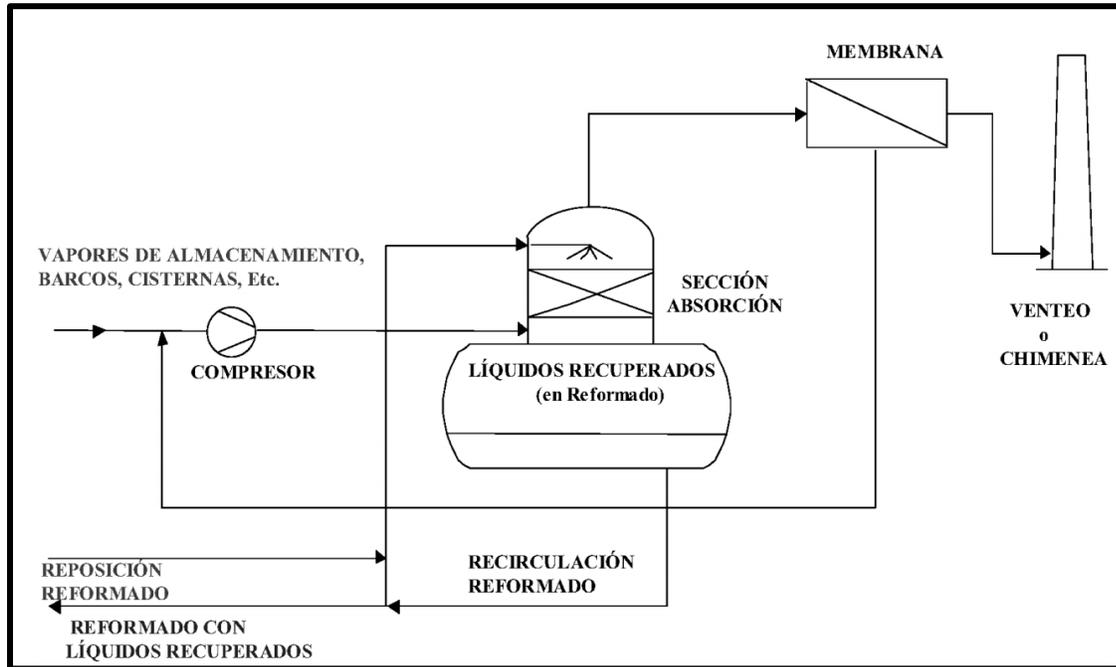
Los elementos producidos ( $H_2S$  y  $SO_2$ ), junto con el dióxido de carbono proceden de la reacción ocurrida en el reactor Claus, pasan a los catalizadores (ver Figura 22 sección inferior), los cuales están constituidos por pequeñas esferas cuya composición es alúmina activada, generando la formación del azufre, llegando limpio y líquido al depósito. Luego se enfría y finalmente se almacena para la venta.

La reacción Claus presenta una falencia, pues no es completa, alcanzando fracciones de azufre en el gas de cola. Una forma de evitar el alto contenido de S es añadiendo en serie reactores Claus, ya que con 3 de ellos puede alcanzar hasta un 98% de recuperación de azufre, mientras 1 llega hasta 90% (Canales, y otros, 2004)

Analizando la información descrita en la Figura 22 en simultáneo con el emitido en la Tabla 6, se muestra que hay 3 plantas recuperadoras de azufre, por lo cual es de esperar 3 reactores Claus, siendo estos los equipos que emiten  $CO_2$  a la atmosfera en la recuperación de azufre.

### 5.3.5 Equipos que emiten $CO_2$ en la reducción de compuestos orgánicos volátiles (COV)

Dado un exceso de gas no puede ser emitido directamente a la atmosfera, es necesario separar los elementos más valiosos o comercialmente viables y quemar el excedente. El proceso para lograrlo consiste en dos etapas: recuperación de hidrocarburos y destrucción de vapores, como se muestra en la Figura 23.

**Figura 23***Unidad de Recuperación de Vapores*

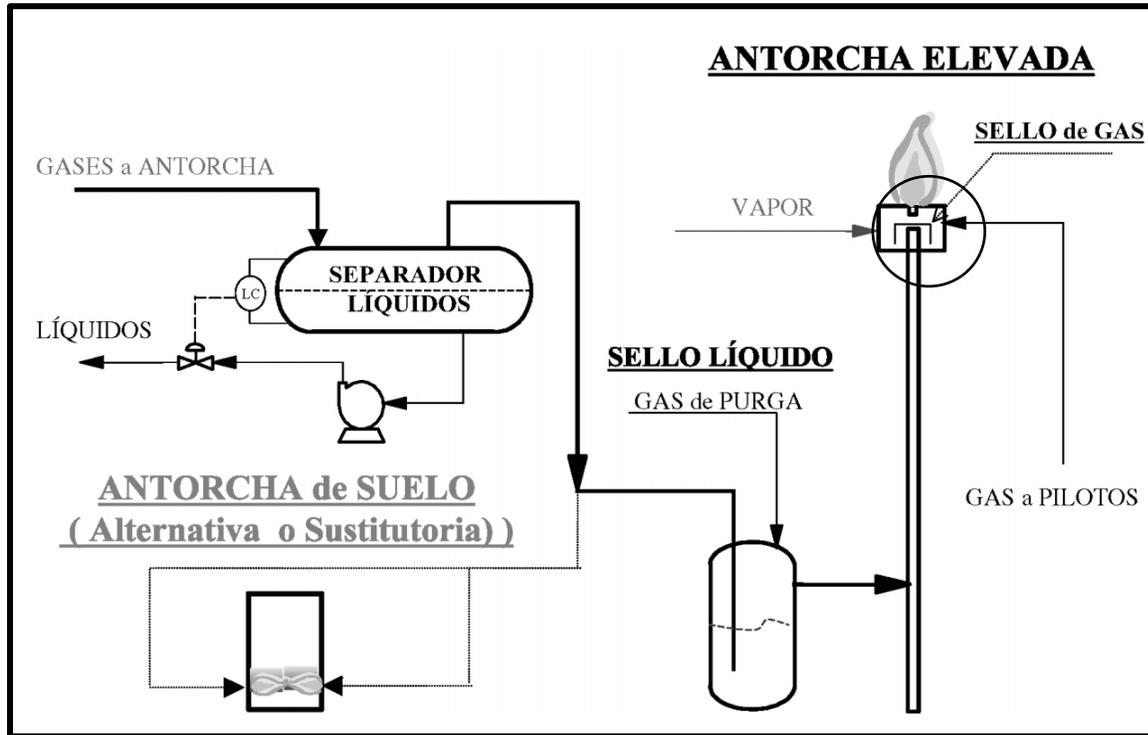
*Nota:* (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

### 5.3.6 Recuperación de hidrocarburos

La recuperación de hidrocarburos puede realizarse por unidades PSA o recondensación. La recuperación de hidrocarburo por unidades PSA pueden ser por absorción, adsorción o membranas, mientras la recuperación de hidrocarburos por recondensación ocurre “con separados por condensación a estado líquido. Incluye reabsorción en la gasolina o crudo, condensación y compresión. (Canales, y otros, 2004)

### 5.3.7 Destrucción de vapores

Para esta sección se utiliza una antorcha para emitir el gas en forma segura al medio ambiente, como se muestra en la Figura 24, estos emiten CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O a la atmósfera.

**Figura 24***Diagrama General de la Antorcha*

*Nota:* (Canales, y otros, 2004) Tomado de: <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>

La antorcha se divide en dos secciones: el sistema de recogida de antorcha con un depósito separador líquido y la propia antorcha. Existiendo dos tipos de antorchas: elevadas y de suelo. (Canales, y otros, 2004)

Las plantas de tratamiento de agua no generan emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, pues no hay reacción de combustión en ninguna fase de sus sistemas. La información de los elementos que generan CO<sub>2</sub> a la atmosfera para el tratamiento de gases se puede ilustrar en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Equipos que Emiten CO<sub>2</sub> en la Refinería de Barrancabermeja en el Tratamiento de Gases*

Fase	Equipo	Cantidad
recuperación de azufre	Quemador Claus	3
reducción de compuestos orgánicos volátiles	Antorcha	1

### 6 Proyección de Emisión Agenda 2030

La Agenda 2030 es un compromiso que suscribió Colombia con otros 192 estados miembros de Naciones Unidas en el 2015 (tras la finalización de los Objetivos del Milenio) en la **Resolución 70/1 de 2015**, la Asamblea General de Naciones Unidas, en un evento histórico denominado Cumbre del Desarrollo Sostenible, para mejorar las condiciones de vida de todas las personas y transformar el mundo en un lugar mejor, sostenible económica, social y ambientalmente.

La Agenda 2030 tiene 4 componentes: 1) Declaración política, 2) 17 objetivos y 169 metas de desarrollo sostenible, 3) Medios de implementación y alianza global y 4) Evaluación y seguimiento. Esta Agenda “define las prioridades y regirá los esfuerzos en materia de desarrollo sostenible a nivel global hasta el 2030. Por ello, su adopción tendrá profundas implicaciones en los instrumentos y planes nacionales de desarrollo, la destinación presupuestaria por parte de la banca y otros organismos multilaterales, en los flujos y modalidades de cooperación internacional, y en la construcción de un entorno internacional habilitante al desarrollo” (Naciones Unidas, 2015).

Colombia ha cumplido un lugar protagónico en este proceso, ya que propuso seguir el enfoque del desarrollo sostenible para los nuevos objetivos y fue uno de los 22 países que desarrolló de manera voluntaria la revisión de estos en el marco del Foro Político de Alto Nivel para los Objetivos de Desarrollo Sostenible del 2016.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) tienen las siguientes características generales:

- Un carácter interrelacionado e indivisible que requiere una mayor intersectorialidad de las políticas y la superación del enfoque de trabajo atomizado con el cual suelen operar los gobiernos.
- Se da importancia a las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y las alianzas.
- Se garantiza que los objetivos contengan medios de implementación específicos.
- Se reconocen las necesidades específicas de los países en conflicto y posconflicto.
- Reconoce un paradigma de complejidad en la búsqueda de la sostenibilidad, en la medida en que promueve un trabajo holístico en el logro los objetivos de desarrollo para la búsqueda de la sostenibilidad, social, económica y ambiental.

En donde los 17 objetivos se muestran a continuación según (García, 2016) están contemplados en la Agenda 2030:

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades”
4. Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.
5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9. Construir Infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. *Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.*
14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir a todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas.
17. Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

Tomando como referencia los objetivos anteriores, se puede decir que en lo que se refiere a la participación de la refinería de Barrancabermeja, corresponde a los objetivos 6, 7, 12 y 13, lo cual se resumen en garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, y que es una de las finalidades del presente proyecto de investigación.

## 6.1 Agenda 2030 para Colombia y su relación con la emisión de CO<sub>2</sub>

La Resolución 70/1 de 2015 de las Naciones Unidas no formula específicamente reducción de CO<sub>2</sub>, pues menciona los gases de efecto invernadero así:

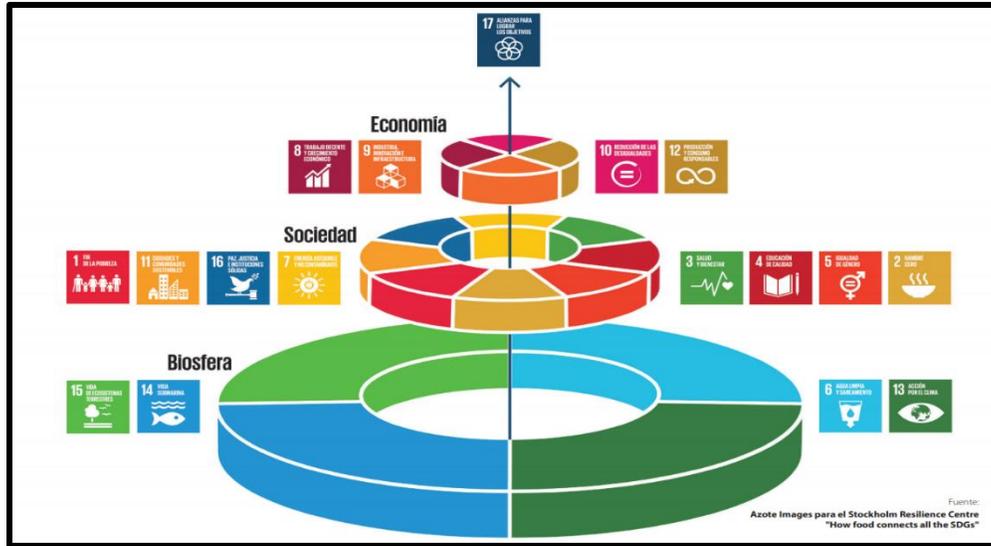
El carácter global del cambio climático exige la máxima cooperación internacional para acelerar la reducción de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y abordar la adaptación a los efectos adversos del cambio climático. Por ello observamos con grave preocupación el importante desfase que existe entre el efecto agregado de las promesas de mitigación de las emisiones anuales mundiales de gases de efecto invernadero para 2020 hechas por las partes y la trayectoria que deberían seguir las emisiones agregadas para que haya buenas probabilidades de que el aumento de la temperatura global media no supere los 2 grados centígrados, o los 1,5 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales. (Naciones Unidas, 2015)

Tomando en cuenta lo anterior se puede observar como la generación del CO<sub>2</sub> que es parte de efecto invernadero es un problema que todos los países del mundo deben enfrentar, por tal motivo Colombia es uno de los países comprometidos con la reducción en la emisión de estos gases que son perjudiciales para la atmosfera y los seres vivos. Como se puede apreciar en la agenda 2030, el petróleo es el causante del 53% del CO<sub>2</sub> emitido a la atmosfera. Colombia sigue el plan estratégico como se muestra en la Figura 25, mostrando el objetivo 13 en el rol de biosfera. La meta que se obtiene es reducción de gases de efecto invernadero en un 20% respecto al año 2020 para el año 2030, siendo el mismo ministerio el encargado de llevar la trazabilidad.

### Figura 25

Estrategia para Aplicar la Agenda 2030

Nota.



(*Agenda 2030 transformando a Colombia, s.f.*) Tomado de [https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/environment\\_energy/agenda-2030-transformando-colombia.html](https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/environment_energy/agenda-2030-transformando-colombia.html)

No se menciona específicamente la cantidad de CO<sub>2</sub> que se desea reducir, solo la disminución de gases de efecto invernadero, por lo cual, para la presente investigación se utilizará el 20% del CO<sub>2</sub> para efectos de cálculo.

## 6.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> en Colombia y su relación con el hidrocarburo

Antes de partir directamente sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en Colombia, es necesario compararlo con los países que mayores contaminantes de este compuesto, lo cual se puede resumir en la Tabla 7.

**Tabla 7***Países con las Mayores Emisiones de CO<sub>2</sub> en 2018*

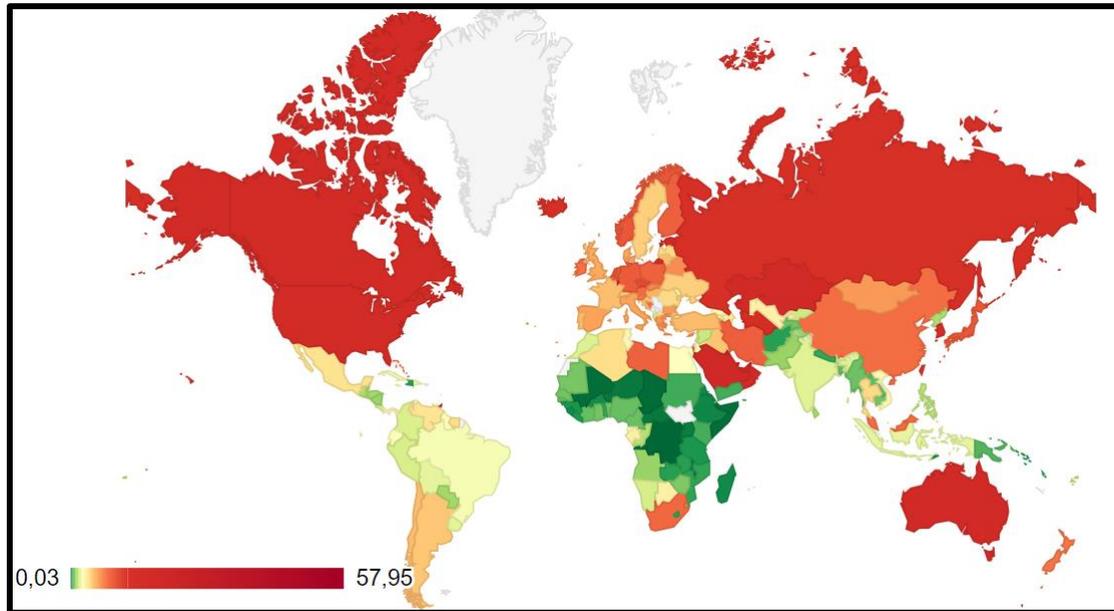
<b>País</b>	<b>Millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas en 2018</b>	<b>Porcentaje total (%)</b>
China	9528	28.1
Estados Unidos	5145	15.2
Unión Europea	3479	10.3
India	2479	7.3
Rusia	1551	4.6
Japón	1148	3.4
Alemania	726	2.1
Corea del Sur	698	2.1
Irán	656	1.9
Arabia Saudí	571	1.7
Canadá	550	1.6

Fuente: (Herrera &amp; Rodríguez, 2020)

Lo anterior puede mostrar varias conclusiones, entre las que cabe destacar: (1) Los niveles de contaminación tiende a ser proporcional a la cantidad de habitantes del respectivo país, exceptuando a la India, (2) Tres países (China, Estados Unidos y la Unión Europea) emiten más del 50% del CO<sub>2</sub> del mundo y (3), los primeros dos países son los principales compradores de Carbón y Petróleo respectivamente de Colombia (Herrera & Rodríguez, 2020), esto podría llegar a teorizar que indirectamente Colombia contamina en otros países. Colombia, para beneficio colectivo, ocupa el puesto 140 en cuanto a emisión de CO<sub>2</sub> con 90045 Kilo Toneladas en el año 2018, muy inferior a los datos obtenidos de la Tabla 8, como se puede observar en la Figura 26.

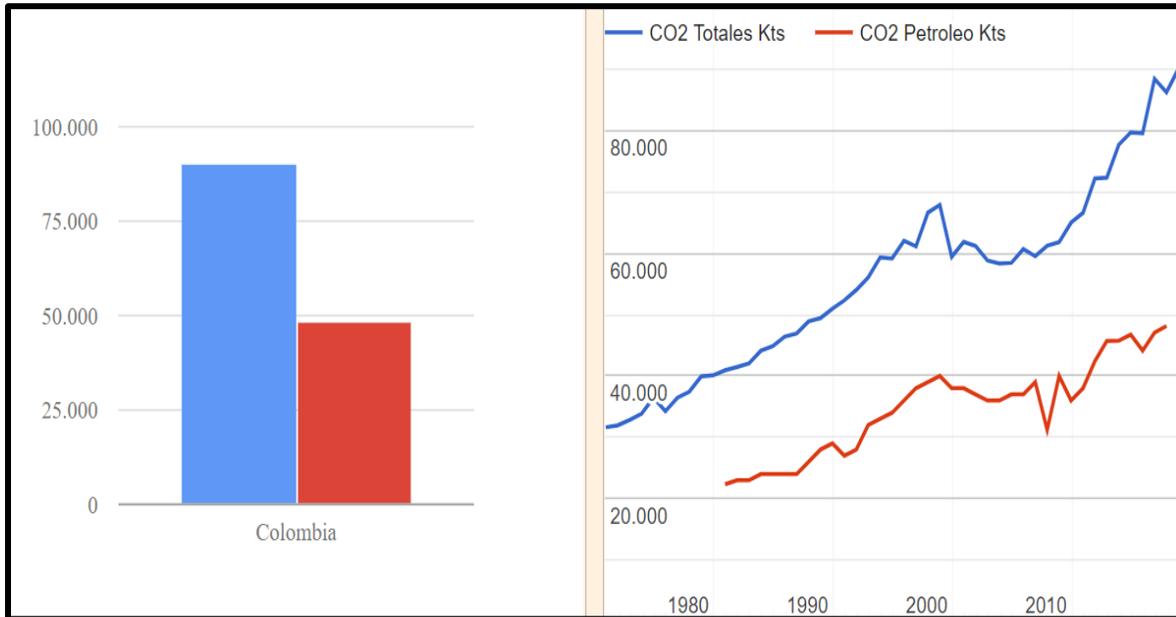
**Figura 26**

*Emisiones CO<sub>2</sub> Toneladas per Cápita 2018*



*Nota* datosmacros.com. Tomado de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-CO2/colombia>

El petróleo participa activamente en la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, como se puede ilustrar en la Figura 27, alcanzando para el año 2018 un total del 53% del dióxido de carbono que captó la atmosfera.

**Figura 27***Emisión de CO<sub>2</sub> por el Petróleo 2018*

*Nota.* datosmacro.com. Tomado de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-CO2/colombia>

### 6.3 Modernización de la Refinería de Barrancabermeja

Las estrategia y modificaciones puestas en marcha en la refinería de Barrancabermeja con el propósito de disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> se contextualiza y materializan con el Proyecto de Modernización de la Refinería de Barrancabermeja, iniciado en 2008, se buscó mejorar la eficiencia en el procesamiento de crudos pesados, mediante un incremento de la conversión de nivel medio (76%) a alta conversión (95%) y a cumplir los estándares nacionales de calidad de los combustibles (Diesel < 50ppm, Gasolina < 300ppm) (Martínez, Núñez, & Delgado, 2017) El proyecto se concibió en las siguientes fases:

Fase 1: Estudio de factibilidad y selección de procesos para la refinación de crudos pesados (aprobado en 2008).

Fase 2: Estudio de integración entre Reficar y la refinería de Barrancabermeja, estimación de costos y cronograma de ejecución (aprobado en 2009).

Fase 3: Ingeniería básica y estructuración del proyecto (finalizado en 2011).

Fase 4: Ejecución del proyecto.

Esta última fase se condicionó a pactos y acuerdos regionales para asegurar las condiciones favorables del entorno; en particular, el acuerdo denominado Gran acuerdo social Barrancabermeja ciudad-región 100 años, enfocado en el desarrollo de talento humano, fortalecimiento económico e institucional, infraestructura y cultura ciudadana. El alcance general del proyecto incluye:

Cuatro unidades de procesos principales (coquización retardada, hidrocaqueo de conversión parcial, hidrosulfurización de nafta de coker y generación de hidrógeno) (Martínez, Núñez, & Delgado, 2017)

Cuatro unidades de tratamiento y procesos auxiliares.

Seis unidades de servicios industriales.

Integración y adaptación del esquema de destilación existente.

Tanques de almacenamiento, sistemas de tea y manejo de coque.

Las inversiones acumulan 4 mil millones desde 2007, y se han concentrado en adaptar la infraestructura de la refinería para procesar crudos pesados en volúmenes del orden de los 175 kbpd y actualizar su configuración para llevarla de media a alta conversión, a través de:

Revamp de la unidad U250.

Actualización tecnológica y metalúrgica de la unidad de destilación de crudo.

La conversión tecnológica de la unidad Unibon de la refinería, que pasó de ser una tratadora de corrientes intermedias a una unidad de hidrocaqueo de mediana conversión. Esto permitió incrementar la producción de diésel en aproximadamente 8 mil barriles día.

Estrategias de disminución de producción de combustóleo, lo que ha incrementado el rendimiento de diésel y de destilados medios.

El Plan Maestro de Servicios Ambientales y el Plan de manejo Ambiental.

La compra y reposición de equipos de laboratorio (reposición cabezal gas ácido lado sur, recuperación del reactor R-2652, reposición sistemas de control turbomaquinaria GRB Trisen) (Martínez, Núñez, & Delgado, 2017)

Sin embargo, Basándose en la Resolución 0934 de 2013 “Por la cual se establece un plan de manejo ambiental y se toman otras determinaciones”, se muestra que la refinería de Barrancabermeja consta de los equipos en la Tabla 8, y según el plan de modernización de la refinería de Barrancabermeja comenzada en 2008 y ejecutada en 2011, se puede deducir que los equipos que emiten CO<sub>2</sub> en la siguiente tabla son los actuales, no obstante, se agregaron equipos a la modernización, los cuales se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 8**

*Plantas y Equipos de la Refinería de Barrancabermeja con sus Respectivas Capacidades*

<b>Sistema o Planta de La refinería</b>	<b>Capacidad o carga</b>
<b>1. Unidades de Destilación Primaria UDP's (Topping)</b>	
1.1 Topping 150	36 KBPD
1.2 Topping 200NR-1	56/26 KBPD
1.3 Topping 250	42 KBPD
1.4 Topping 2000	60 KBPD
1.5 Topping 2100	36 KBPD
<b>2. Unidades de hidrotatamiento</b>	
2.1. Desulfuración de Diesel Prime D U-4700	56 KBPD
2.2. Desulfuración de Gasolinas Prime G U-4750	19 KBPD
2.3. Plantas de generación de Hidrógeno	
U-2600	12000 KBPD
U-4650	31000 KBPD
U-1150	3600 KBPD
2.4. (1) Planta de Tratamiento con Amina U-2870	310 GPM de amina circulante
2.5. Plantas Recuperadoras de Azufre	

2.6. Plantas Despojadoras de aguas ácidas /agrias	
U-2590	450 GPM
U-4840	491 GPM
<b>3. (1) Planta de Especialidades U-650</b>	4.5 KBPD
<b>4. (1) Planta Tratamiento con Soda (U-4600)</b>	112 KBPD
<b>5. (1) Planta DEMEX y UNIBON</b>	
5.1. Planta DEMEX U-2500	45 KBPD
5.2. Planta UNIBON U-2650	23 KBPD
<b>6. Plantas Viscorreductoras</b>	
6.1. VR-I (Considerada junto a la Topping 200)	26 KBPD
6.2. VR-II U-2800 (En Unidad de Balance)	24 KBPD
<b>7. Unidades de Ruptura Catalítica</b>	
7.1. Orthoflow U-500	26 KBPD
7.2. Modelo IV U-300	16 KBPD
7.3. UOP-1 U-2700 (En la Unidad de Balance)	28 KBPD
7.4. UOP-11 U-4200 (Nueva Cracking)	35 KBPD
<b>8. (1) Planta de Alquilación U-4560</b>	4.5 KBPD
<b>9. (1) Planta de Ácido Sulfúrico U-470</b>	17 KPCH
<b>10. Plantas de azufre</b>	
Azufre II U - 2880 (En Unidad de Balance)	60 KPCH
Azufre III U - 4360 (En la Cracking UOP-11)	38 KPCH
Azufre IV U-4800 (En Unidad de Balance)	82 KPCH
<b>11. Planta de Parafinas</b>	4.68 KBPD
<b>12. Planta de aromáticos</b>	14.5 KBPD
<b>13. Plantas de Etileno</b>	
13.1. Etileno I U-550	8400 KPCD
13.2. Etileno II U-4100	25000 LBH
13.3. Etileno III U-2760	11700 KPCD
13.4. Etileno IV U-4300	17280 KPCD
<b>14. Plantas de Polietileno</b>	
14.1. Polietileno I U-2200	6800 LBH
14.2. Polietileno II U-2250	12000 LBH
<b>15. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR</b>	
15.1. Planta U-2900 Unidad de Balance	5000 GPM
15.2. Planta U-850/830 Area de Refinación	9400 GPM
<b>16. Plantas de Tratamiento de Aguas Domésticas DIAPAC</b>	72 GPM
<b>17. Otras plantas y unidades de la GRB</b>	
- 3 Unidades de Blanding de combustibles (Gasolinas, Diesel y Fuel Oil)	
- 1 Planta de Tratamiento MEROX U-2850	1.8 KBPD
- 1 Planta de Recuperación de Soda Gastada Sulhídricas	
- 1 Planta de Tratamiento de sodas naftenicas y cresilicas	
- 1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTAR)	4500 GPM
- 1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas (DIAPAC)	72 GPM
- 3 Sistemas de amortiguación de aguas lluvias	

- 7 Sistemas de separación de aguas aceitosas	
- Unidades de Servicios Industriales	
9 Torres Enfriadoras	Flujo de Circulación 35.000 — 70.000 GPM
14 Calderas:	Vapor 400- psig (2100 KLBH)
5 Central del Norte	
4 Foster Wheeler	
5 Distral	
5 Calderas	Vapor 600 -psig (1500 KLBH )
8 Turbogeneradores	137 MWH Generación Energía
1 Turbogas	3675 KLBH de vapor /24 MWH
12 Compresores de aire	
21 Bombas de Agua de Contra-incendio ubicadas en 5 Estaciones	
Red de gas combustible	
- Tanques de Almacenamiento.	
- 2 Plantas de Almacenamiento de Gases (Butanos, GLP, Propileno)	
- Casas de Bombas	

Donde BPD son barriles por día, BPH son barriles por hora, GMP son galones por minuto, PCH son pies cúbicos por hora, PCD son pies cúbicos por día, LBH son libras por hora, TPD son toneladas por día y KLBH son Kilo barriles por hora (Sánchez & Mejía, 2005).

**Tabla 9**

*Equipos Nuevos en el Proceso de Modernización en la Refinería de Barrancabermeja*

No de unidad	Nombre de Unidad	Unidad Existente
--------------	------------------	------------------

Modernización de unidades de crudo existentes en GRB (Integración y simplificación del esquema de destilación existente)

U-3160	Estación de almacenamiento de GLP y Compresión de Gas Natural	Estación compresora 118.6 MMSCFD
Unidades de proceso que harán parte del PMRB		
U-8200	Unidad de Coque	Capacidad de 54.000 BPD
PG-8251	Tratamiento cáustico de GLP de la Coker	4,400 BPD
U-8300	Unidad de Hydrodesulfurización de Nafta	Capacidad de 16.700 BPD
U-8400	Unidad de Hidrocraqueo	Capacidad de 80.000 BPD
U-8500	Unidad de generación de Hidrógeno	Capacidad de 2 * 100 MMSCFD
U-8600	Unidad despojadora de aguas agrias (Tren 1)	2 *450 GPM
U-8700	Unidad despojadora de agua agrias (Tren 2)	
U-8900	Unidad Regeneradora de Amina (Tren 1)	2 * 525 GPM
U-9000	Unidad Regeneradora de Amina (Tren 2)	
U-9100	Unidad Recuperadora de Azufre (Tren 1)	125 LT/D * 2
U-9200	Unidad Recuperadora de Azufre (Tren 2)	125 LT/D *2
U-9400	Unidad de tratamiento de gas de cola (Tren 1)	
U-9500	Unidad de tratamiento de gas de cola (Tren 2)	
<b>Unidades de servicios industriales</b>		
U-6000	Sistema de distribución de agua contra incendios	7.500 GPM
U-6100	Sistema de alimentación de agua de la caldera y del vapor (Desmineralización)	600 GPM - Sistema de alimentación de agua 800 GPM Condensador 1.800 GPM Desmineralizador 2.020 GPM - Agua Industrial
U-6200	Sistema de enfriamiento de agua	27.000 GPM
U-6300	Sistema de recuperación y tratamiento de aguas residuales	
U-6350	Unidad de manejo de aguas lluvias	195,000 GPM -Limpias 87,300 GPM - aceitosas
U-6400	Sistema de instrumentación neumático de planta	3.850 SCFM
U-6600	Sistema de quema para hidrocarburos	1.211.100 lb/hr
U-6700	Sistema de quema para gas ácido	58.600 lb/hr
U-6800	Sistema de manejo y almacenamiento de Petcoke	70.000 Ton de almacenamiento y 500 ton / hr de manejo
U-6900	Llenadero de Azufre liquido	250 LT/D
U-7100	Tanques de almacenamiento de materia prima	265 KBLS (Operación) 316 KBLS (Nominal)
U-7300	Sistema de abastecimiento de Nitrógeno	7350 SCFM
U-7400	Sistema de abastecimiento de soda caustica	88 GPM
U-9700	Subestación eléctrica	
U-9800	Sistema de interconexión de tubería	

Donde PMRB es el proyecto de modernización de la refinería de Barrancabermeja. Como se muestra en la anterior Tabla, se mejoró la capacidad de la refinería sin que llegue a aumentar el número de Calderas o turbogases, esto, en contraste, muestra una optimización. Sin embargo, hay un Sistema de quema para hidrocarburos, no obstante, es predecible este equipo adicional por el incremento en las plantas, ya que cada planta tiene su propia TEA, siendo este un requisito esencial para evitar posibles fugas de combustibles. La capacidad a la cual está funcionando las distintas calderas y el turbogas se especifican en la Tabla 8.

Implementar un SGEN favorece a las organizaciones en disminución de costos operativos y la huella de carbono propia por generación.

Actualmente en la GRB, el Departamento de Refinación de Crudos procesa aproximadamente 230 mil barriles por día [KBPD] de una capacidad máxima de 237 KBPD repartida en 5 unidades diferentes de destilación primaria, de las cuales la U-200 posee la mayor capacidad de carga (alrededor de 83 KBPD), por consiguiente, es la que notifica mayores consumos energéticos, en donde los hornos de proceso son considerados los equipos de mayor consumo significativo.

En el caso particular de la GRB, por efecto del incremento de los costos de la energía y la poca accesibilidad a los recursos energéticos, esta reaccionó a la necesidad de utilizar nuevas tecnologías y procedimientos que mejoren y controlen su consumo, implementando con un sistema de gestión de energía (SGEN) para analizar y reducir los consumos energético en sus unidades de proceso. Es necesario aclarar que este SGEN implementado está guiado bajo el enfoque de la versión anterior de la ISO 50001 del 2011, por lo que se encuentran en el periodo de transición en el que deben acogerse a los requisitos de la reciente ISO 50001:2018, como se hizo con la mejora de dicho SGEN en el presente trabajo desarrollado a partir de las partes de revisión energética y

control operacional del proceso de planeación existente. La Refinería de Barrancabermeja es consciente del proceso de transformación energética que atraviesa la industria de Oil & Gas, ha decidido invertir en programas de eficiencia para su nueva fase, estimando ahorros de consumo y estructura de \$8 billones de dólares para el año 2023.

Entre ellas se destacan cinco unidades topping (destilación atmosférica y al vacío), cuatro unidades de ruptura catalítica, dos plantas de polietileno y las plantas de alquilación, ácido sulfúrico, parafinas, aromáticos, turboexpander, hidrotratamiento, demetalización y viscorreducción, así como las plantas para el procesamiento de residuos del proceso de refinación.

A continuación, se muestran algunos deberes en el liderazgo a ejercer dentro de un SGen establecidos en la guía de implantación de sistemas de gestión de la energía por la Autoridad Nacional de Certificaciones (NQA):

- Asegurar que se establezcan el alcance y los límites del SGE.
- Asegurar que la política energética, los objetivos y las metas energéticas se establezcan y sean compatibles con la dirección estratégica de la organización.
- Garantizar la integración de los requisitos del SGE en los procesos comerciales de la organización.
- Asegurar la aprobación e implantación de planes de acción.
- Asegurar los recursos necesarios para el SGE.
- Comunicar la importancia de una gestión energética eficaz y de cumplir con los requisitos del SGE.
- Asegurarse de que el SGE logre los resultados deseados.
- Promover la mejora continua del rendimiento energético y del SGE Los beneficios específicos derivados de la implantación de un SGen certificado en ISO 50001:

- Reducción de costes y energía en corto, mediano y largo plazo, que equivalen a gastos generales de una empresa y ahorro en dinero.
- Capacidad de identificar y administrar dónde, cómo y cuándo se consume la energía e identificar mejoras y reducciones de eficiencia energética.
- Reducción de la huella de carbono, correlacionada directamente con cualquier reducción energética
- Buena reputación comercial frente a las demás organizaciones en el reconocimiento del compromiso con un consumo energético sostenible.

La disminución de CO<sub>2</sub> se genera mejorando la eficiencia de los procesos desde la mezcla optima de combustible hasta las capacidades de los equipos. Al contrastar la carga generada de CO<sub>2</sub> con la carga de los equipos nuevos, hay emisiones por combustión, emisión por quema de gas es claro en ese sentido analizar el proceso de quema de combustible, el objeto de estudio de la estrategia entre los nuevos y viejos equipos se centra en la eficiencia para la quema de combustible entre ambas, analizada desde la emisión del CO<sub>2</sub> en cada equipo, y al mismo tiempo se contextualiza con el aumento de carga en la refinería. Lo anterior permitirá unir el proceso de quema de combustible con el crecimiento de la refinería para encontrar el porcentaje de disminución a lo largo del tiempo. Además, esto se logra mediante la lectura de la huella de carbono.

## **7 Análisis de las Estrategias**

Las plantas químicas, en si las refinerías, conllevan a representar el 40 % del costo total de operación, por lo cual la industria petroquímica ha venido implementando estrategias para

aumentar la eficiencia energética, entre las que se destacan: el fortalecimiento de la gestión de la energía, el cambio de las fuentes de energía y la recuperación y posterior reutilización de residuos de energía

Por tal motivo como meta al 2030, el Grupo Ecopetrol busca reducir en 25% sus emisiones de CO<sub>2</sub>e (frente a la línea base establecida en el año 2019. Adicionalmente, Ecopetrol busca reducir el 50% de sus emisiones totales al 2050.

En investigación realizada Martínez (2018) por menciona que el alcance general del proyecto incluye:

- Cuatro unidades de procesos principales (coquización retardada, hidrocaqueo de conversión parcial, hidrosulfurización de nafta de coker y generación de hidrógeno).
- Cuatro unidades de tratamiento y procesos auxiliares.
- Seis unidades de servicios industriales.
- Integración y adaptación del esquema de destilación existente.
- Tanques de almacenamiento, sistemas de tea y manejo de coque.

En otro punto, las inversiones acumulan 4 mil millones desde 2007, y se han concentrado en adaptar la infraestructura de la refinería para procesar crudos pesados en volúmenes del orden de los 175 kbpd y actualizar su configuración para llevarla de media a alta conversión, a través de:

- Revamp de la unidad U250.
- Actualización tecnológica y metalúrgica de la unidad de destilación de crudo.
- La conversión tecnológica de la unidad Unibon de la refinería, que pasó de ser una tratadora de corrientes intermedias a una unidad de hidrocaqueo de mediana conversión. Esto permitió incrementar la producción de diésel en aproximadamente 8 mil barriles día.

- Estrategias de disminución de producción de combustóleo, lo que ha incrementado el rendimiento de diésel y de destilados medios.
- El Plan Maestro de Servicios Ambientales y el Plan Maestro Ambiental.
- La compra y reposición de equipos de laboratorio (reposición cabezal gas ácido lado sur, recuperación del reactor R-2652, reposición sistemas de control turbomaquinaria GRB Trisen).

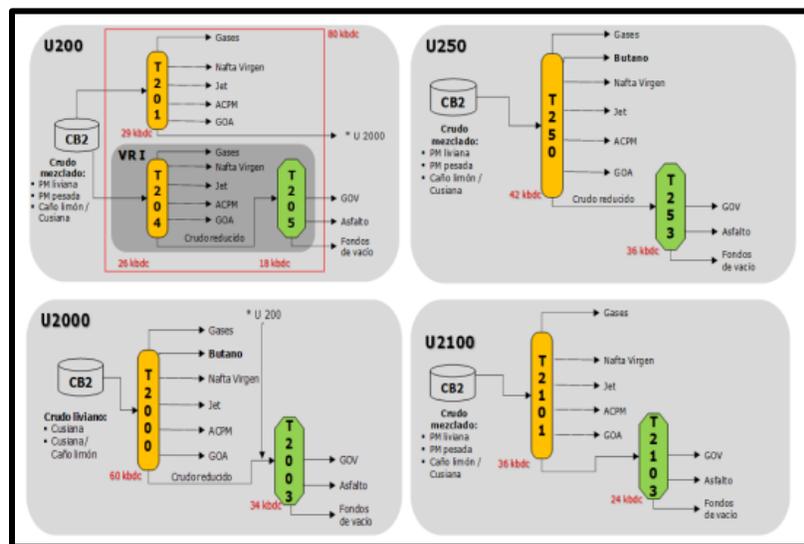
Sin embargo, para el año 2015, hubo un cambio drástico en las condiciones del entorno de la industria, se presentó a la Junta Directiva de Ecopetrol un análisis en relación con los escenarios de cancelar o suspender el proyecto, teniendo en cuenta la afectación del flujo de caja de Ecopetrol. En consecuencia, la Junta Directiva aprobó por unanimidad la suspensión de los gastos corrientes del proyecto y solicitó el inicio de un estudio para buscar alternativas de modernización de la refinería. Por ello, en años recientes, las inversiones han venido cayendo. En particular, se redujeron del 26%, en promedio durante los últimos cuatro años, al 14% de la inversión total al cierre de 2017. En 2018, el escenario de precios internacionales está cambiando, las perspectivas de la industria petrolera en el país han mejorado por esta razón y por la consolidación de la paz, la prospectividad del valle medio del Magdalena atrae inversiones y la reactivación de la economía son todos elementos que pueden cambiar también las perspectivas de la inversión en refinación en el país y en Santander aplicada al Sistema de Gestión Integral de la Energía en la Refinería de Barrancabermeja, con la finalidad de identificar oportunidades de mejora que contribuyan al uso racional y eficiente de la energía para reducir el impacto de costos de producción asociados al gasto de gas combustible en los equipos de consumo significativo de energía, y de igual manera, en su compromiso con el medio ambiente, minimizar la emisión de gases de efecto invernadero ocasionados por la quema de combustible.

Según estudios realizados por expertos en la GRB, se estima que la disminución en consumo energético en la U-200 puede conllevar a una reducción de hasta 90 GBTU/año, para un potencial de ahorro de costo de \$283 2 mil dólares anuales, en la que traería consigo una reducción de 1.43 Ton/año de emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

De acuerdo a lo anterior, desde la Coordinación de Energía y Pérdidas se detectó una oportunidad de mejora dentro del SGen ya existente en GRB, desarrollando una herramienta de control operacional que permita mejorar el desempeño energético en los equipos de combustión de la unidad de destilación U-200. Para esto se siguieron los lineamientos de planeación, revisión energética y control operacional, acorde a los requisitos expuestos por la norma ISO 50001:2018. A continuación, se muestra la Figura 28 que muestra la Refinación para las unidades de Topping.

**Figura 28**

*Refinación resumida para las unidades de Topping en GRB*



Nota. (Arciniegas, 2020) Tomado de <https://docplayer.es/213618356-Daniel-orlando-arciniegas-serrano.html>

A continuación, en la Tabla 10, se presentan los hornos que son utilizados en la Refinería de Barrancabermeja, pues son unos de los equipos en donde existe mayor consumo de energía y en conciencia la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera se ve influenciado por ellos,

**Tabla 10**

*Principales Hornos de la Refinería de Barrancabermeja*

<i>Proceso-Planta</i>	<i>Sección</i>	<i>Objetivo del Horno</i>
Destilación de Crudo-Topping	Destilación Atmosférica.	Pre calentamiento del Hidrocarburo
	Destilación al Vacío.	Pre calentamiento del Crudo Reducido
	Destilación de Vapor.	Generación de Vapor.
Craqueo Catalítico-FCC	Cracking	Calentamiento del regenerador en arrancadas.
	VRU-Recuperación de Vapor	Calentamiento de regeneración
Viscorreducción	Viscorreducción	Viscorreducción
Azufre	Reacción	Horno de Reacción
Producción de Ácido Sulhídrico – Ácido.	Reacción	Pre calentamiento de flujo de carga
Procesamiento de Fondos de vacío	Demex	Descomposición del ácido Calentamiento de fondos.
Producción de Aromáticos	Hidrotratamiento de Nafta - Unifying	Pre calentador del Reactor
	Reformado de Nafta – Platforming.	Calentamiento de Mezcla
	Hidroalquilación -Hydeal	Calentamiento de Mezcla

Fuente. (Arciniegas, 2020)

La planta de Topping de refinación de crudos es una unidad de destilación compuesta por dos secciones, una atmosférica (unidad de fraccionamiento) y otra de vacío. Está planta de la GRB procesa cerca de 237 KBD al día y cuenta con cinco (5) unidades de destilación (topping): U-150, U-200, U-250, U-2000, U2100. La U-200 es la que posee Fuente: Ecopetrol vista panorámica parte de Refinería GRB, Departamento de Refinación de Crudos Ilustración 8 Límites del SGen en

Refinería de Ecopetrol, Barrancabermeja 25 mayor capacidad de carga de crudo, cargado en sus Hornos de refinación aproximadamente 83 KBP por día

Por consiguiente, luego de haber revisado la investigación Arciniegas (2020), se puede hacer referencia a los siguientes aspectos que son una base para emitir conclusiones acerca de la reducción de emisión de gases por parte de la refinería de Barrancabermeja.

- **Flujo de gas combustible a quemadores:** La calidad y tipo del energético representa en gran medida el tipo de combustión presente en el equipo, pudiendo ocasionar pérdida de llama/combustión incompleta.

- **Flujo de carga total al horno:** La calidad y cantidad de carga guardan una relación directa con la cantidad de energía consumida en el equipo.

- **Temperatura de salida del horno:** Es el objetivo más común en un equipo de calentamiento, puede ocasionar mayor consumo de energía debido al incorrecto ajuste de las demás variables de operación en el equipo

- **Porcentaje de  $O_2$  en humos:** Bajos porcentajes de oxígeno representan combustión incompleta, ocasionando un mayor consumo de energía, acumulación de gas y posible riesgo de explosión.

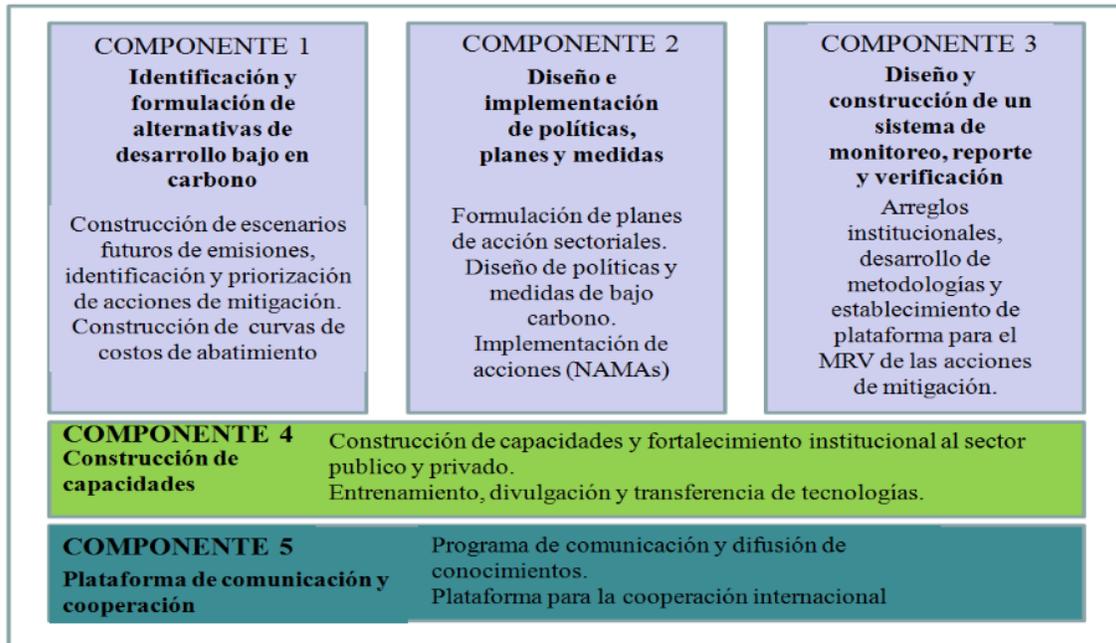
- **Temperatura de carga antes de ingresar al horno:** Tener altos niveles de temperatura de carga antes de ingresar al horno puede representar bajos niveles de consumo de gas combustible, pero su incremento en el tiempo puede generar la formación y crecimiento coque controlado.

La Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) es un programa de planeación de desarrollo de corto, mediano y largo plazo, que tiene como objetivo desligar el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) el crecimiento económico nacional, manteniendo el crecimiento proyectado del PIB.

En la Figura 29 se muestra las estrategias que propone para el desarrollo bajo de Carbono.

**Figura 29**

*Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono*



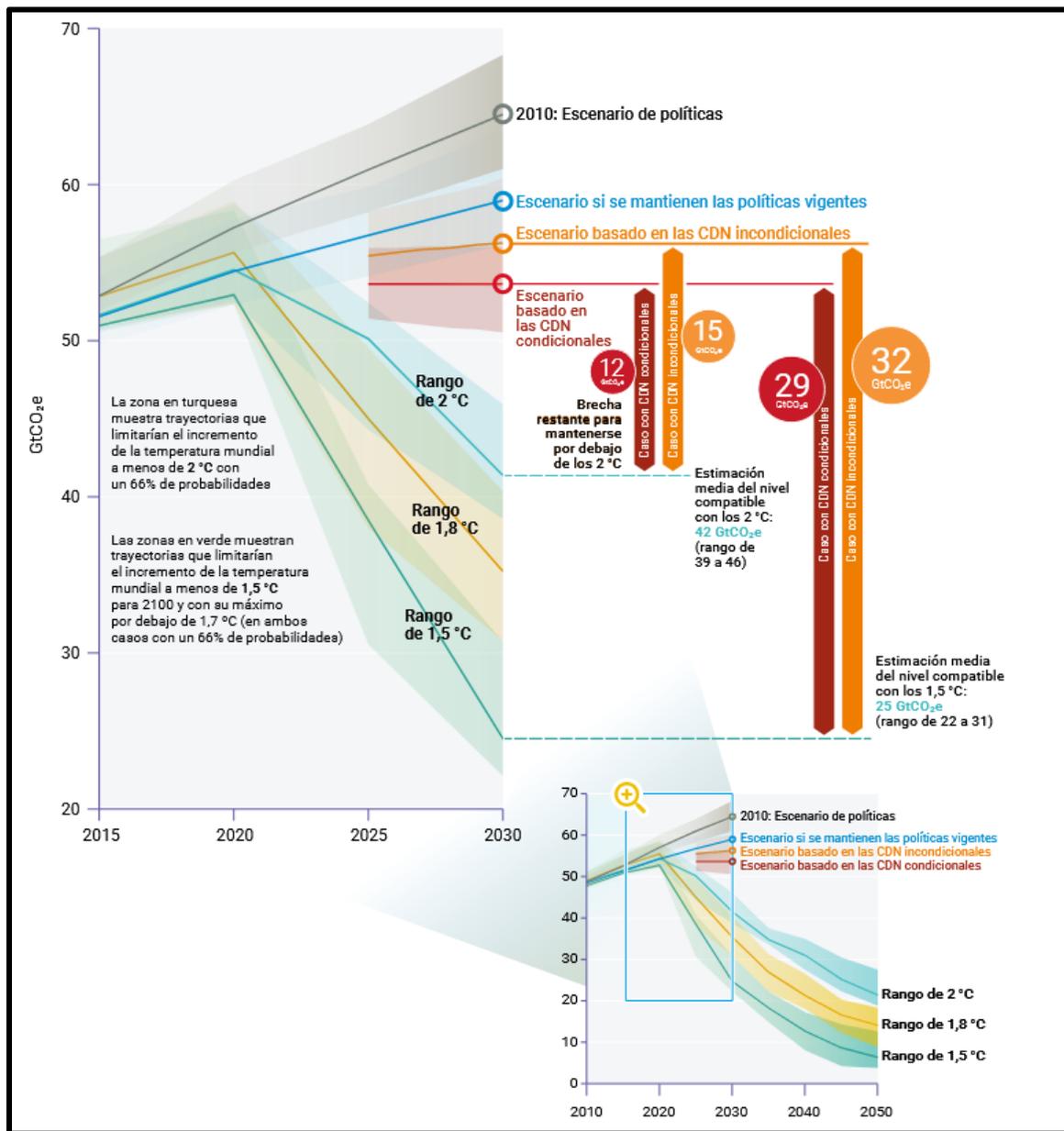
*Nota:* Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Tomado de: [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes\\_sectoriales\\_de\\_mitigaci%C3%B3n/PAS\\_Hidrocarburos\\_-\\_Final.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes_sectoriales_de_mitigaci%C3%B3n/PAS_Hidrocarburos_-_Final.pdf)

Como se puede observar en la figura anterior el gobierno colombiano ha estado elaborando estrategias para lograr la disminución de las emisiones de carbono al ambiente, y pues con ello el CO<sub>2</sub> y la Refinería de Barrancabermeja con una capacidad de 250.000 barriles de petróleo crudo por día (BPCD) refina alrededor del 74% de los crudos cargados a la refinería.

Ahora bien a nivel mundial y los países que tienen la mayor carga por emitir gases a la atmosfera han realizado acuerdos como los ya antes se han mencionado, y estudios que se como se muestra a continuación en la Figura 30 demuestra la proyección de Emisiones mundiales de GEI conforme a distintos escenarios.

Figura 30

Emisiones mundiales de GEI conforme a distintos escenarios y la brecha en las emisiones para el 2030 (mediana y rango de percentil 10° a 90°)



Nota: Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.

En la Figura anterior muestra las proyecciones actuales que apuntan a la repercusión en las emisiones para el para el 2030 oscilará entre +1 GtCO<sub>2</sub>e y -15 GtCO<sub>2</sub>e, con lo cual podría situar que dicha emisiones puedan estar por debajo de los niveles que están asociadas a los escenarios basados en las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN), Reducir las emisiones mundiales de GEI en 15 GtCO<sub>2</sub>e provocaría que las emisiones para el 2030 pasaran a estar dentro de un rango compatible con los escenarios de menor costo que mantienen el calentamiento del planeta por debajo de 2 °C, pero no en el ámbito de 1,5 °C.

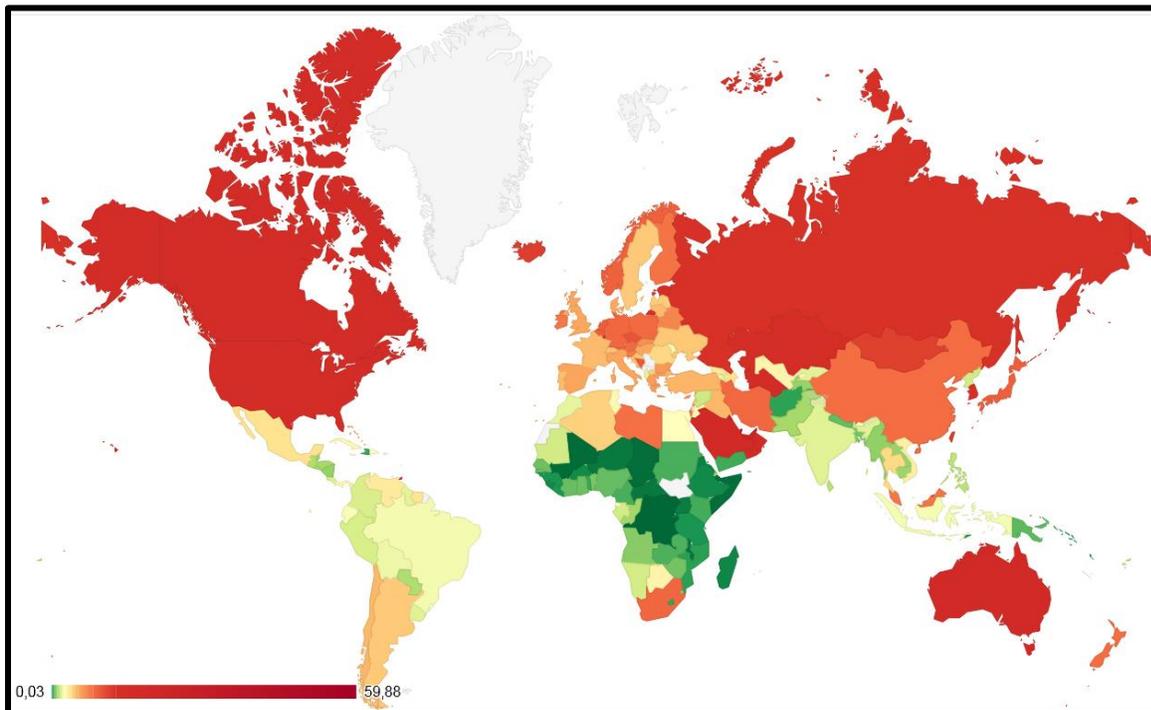
Cabe mencionar que la anterior figura fue elaborada en base en informe sobre la brecha en las emisiones del 2020 ha contado con la orientación de un ilustre comité directivo y ha sido elaborado por un equipo internacional de científicos destacados que ha evaluado toda la información disponible, incluida la publicada en el contexto de los informes especiales del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

Ahora bien, en la página de datosmacro.com (2019) se menciona que las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2019 “Han sido de 86.550 kilotoneladas, con lo que Colombia es el país número 138 del ranking de países por emisiones de CO<sub>2</sub>, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes”

Por este motivo se encuentra con un 1,74 CO<sub>2</sub> t per cápita, como se muestra en la Figura 31, Obsérvese que los países más industrializados están presentes en color rojo y que tiene muy altas emisiones de gases al ambiente. Colombia por el contrario se encuentra todavía con márgenes que están por debajo de las estadísticas presentadas.

**Figura 31**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> por países.*



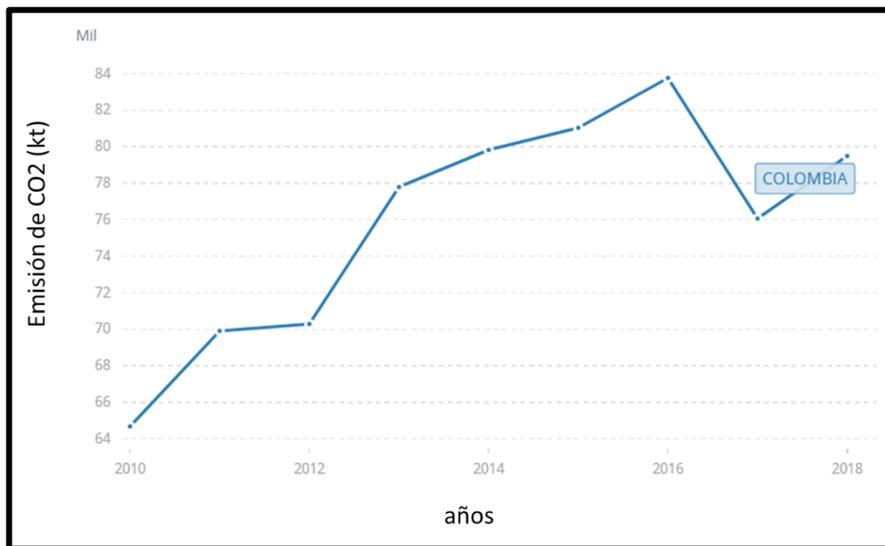
Nota: tomado de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2>

En la Tabla 11 a continuación se muestra el aumento del CO<sub>2</sub> a lo largo de los últimos 10 años en Colombia 11 y la Figura 33 se grafican estos datos, sin embargo, por parte de la industria de la Refinería del Petróleo es poca la cantidad que se aporta a estos índices como se muestra en la Tabla 12 y Figura 34.

**Tabla 11***Emisiones de CO<sub>2</sub> en Colombia desde 2010 al 2018*

Año	Emisión de CO <sub>2</sub> en kt
2010	64.680
2011	69.910
2012	70.290
2013	77.790
2014	79.820
2015	81.030
2016	83.760
2017	76.060
2018	79.490
2019	86.550

Fuente: (Banco Mundial, 2019)

**Figura 32***Índice de CO<sub>2</sub> kt al ambiente. Colombia*

Note: tomado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2018&locations=CO&start=2010>

**Tabla 12**

*Aporte por la Refinerías de CO<sub>2</sub> al ambiente en Colombia*

Año	Emisión de CO <sub>2</sub> en kt
2010	1.940,40
2011	2.097,30
2012	2.108,70
2013	2.333,70
2014	2.394,60
2015	2.430,90
2016	2.512,80
2017	2.281,80
2018	2.384,70
2019	2.596,50

Fuente: elaboración propia.

Para la elaboración de la anterior tabla se tomó como base el 3% que es la contribución que las Refinerías aportan de CO<sub>2</sub> al medio ambiente en Colombia, este dato se tomó del Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia (2020)

Con la implementación de las mejoras a la Refinería en Barrancabermeja se estima que el aporte es del 1,5% de esto totales. En este sentido, se logra apreciar en el comparativo siguiente de la tabla 13 y figura 33.

**Tabla 13.**

*Emisión de CO<sub>2</sub> en kTn*

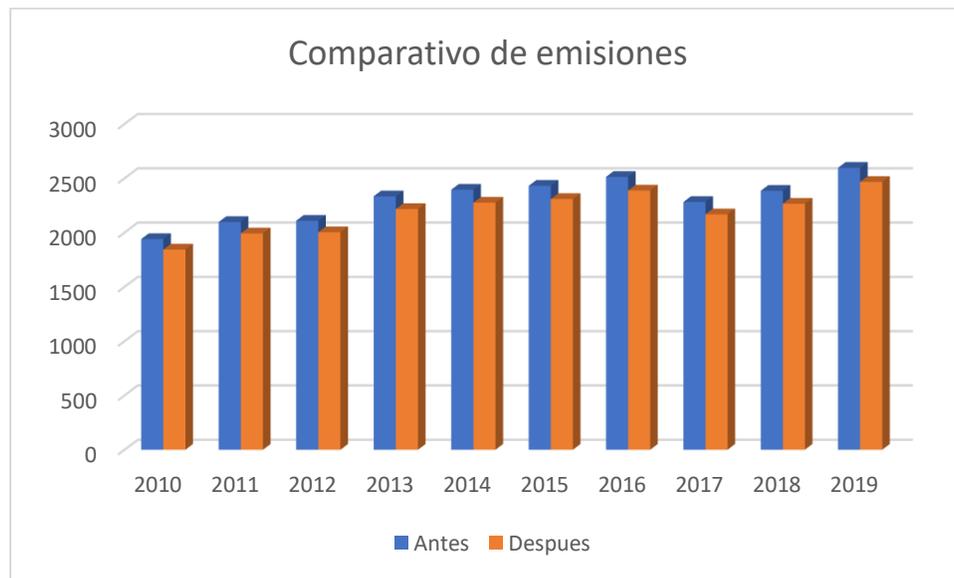
Año	Emisión de CO <sub>2</sub> en kTn	
	Antes	Después
2010	1940,4	1843,38
2011	2097,3	1992,435
2012	2108,7	2003,265
2013	2333,7	2217,015
2014	2394,6	2274,87
2015	2430,9	2309,355

2016	2512,8	2387,16
2017	2281,8	2167,71
2018	2384,7	2265,465
2019	2596,5	2466,675

Fuente: elaboración propia.

### Figura 33.

*Comparativo de emisiones*



Fuente: elaboración propia.

Como se logra apreciar en la figura 33, las adecuaciones propuestas dentro de la refinería, en efecto coadyuvarán a la reducir la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo cual constituye un esfuerzo relevante que, podrá ser extensivo a instalaciones químicas similares.

## **8 Conclusiones**

Las refinerías más completas como es el caso de la Refinería de Barrancabermeja, generalmente mayores en capacidad de tratamiento de crudo, emitiendo CO<sub>2</sub> en los procesos tales como: destilación de crudo, craqueo, fabricación de aceites lubricantes, asfaltos, parafinas, así como procesos de mejora de las gasolinas tales como el reformado catalítico, la alquilación o la isomerización, así entonces, las actividades producidas en refinerías correspondientes a los procesos de: Calderas, Turbinas de gas, hornos para: destilación, reformado catalítico, recuperación de azufre, hidrotratamiento, Craqueo catalítico, Alquilación, Hidrocaqueo y las Antorchas son las actividades de equipos que emiten CO<sub>2</sub> en dicha refinería.

Al estudiar el desempeño de la refinería de Barrancabermeja según la revisión de las diferentes investigaciones que se han realizado mediante la empresa ECOPETROL, se pudo observar que se ha logrado disminuir la emisión de gases del efecto invernadero y en la Refinería de Barrancabermeja tuvo una disminución de 456.892 tCO<sub>2</sub>e entre 2018 y 2019 gracias a su programa de eficiencia energética,

Las estrategias y modificaciones que hace la refinería de Barrancabermeja van en cumplimiento de objetivos de desarrollo del sector, generando adicionalmente co-beneficios económicos, sociales y ambientales, como ahorros en costos de producción, mayor eficiencia energética, incremento del factor de recobro, seguridad energética y mejora en calidad de aire, para ello se aplica políticas basadas en realizar las mediciones y reportes de emisiones de GEI en la industria, mediante programas de Promover y fortalecer los sistemas de gestión energética en la industria de petróleo y gas.

Colombia ha adquirido el compromiso de limitar o de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en el ámbito de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio

Climático, su Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, para esto se han propuesto una hoja de ruta en donde con la cual se permita que la agenda empiece a hacer parte del ADN de la agenda pública del país y se vea cada vez más la existencia de convergencia en la formulación de planes y programas en todos los niveles, sin embargo, se debe considerar que la proyección para el 2030 en cuanto a la reducción del CO<sub>2</sub> en el ambiente, es un tema mundial y por tal motivo es en base a esas políticas que ya se ha establecido, no queda de otra sino tratar de cumplirlas para proveerle a las generaciones futuras un planeta en el que puedan respirar, es decir, vivir.

Cabe resaltar que es notorio la disminución de la Refinería en cuanto a CO<sub>2</sub>, pues con la adquisición de nuevas maquinarias el aporte de este gas a la atmosfera colombiana equivales más o menos de 1.298 kilotoneladas al año.

## 9 Recomendaciones

Son muchas las medidas que a nivel mundial los países más y menos ponentes ha implantado o simplemente han enunciado para realizar y así evitar la contaminación por emisión de gases a la atmosfera, es bastante preocupante que el Cambio Climático que está sufriendo el mundo sea a causa de la despreocupada utilización de los recursos naturales que ella misma proporciona, por tal motivo la existencia de la agenda 2030 en donde Colombia aspira mantener las emisiones de gases por debajo del 1,5 que está solicitando las Naciones Unidas, de aquí la importancia de que las Empresas dedicadas a la Refinería incluyeron en sus planes la adquisición de modernos equipos, cuyo fin inmediato es contribuir a la disminución de contaminantes al ambiente por medio de la optimización de procesos haciendo uso de nuevas tecnologías.

Se propone a las Industrias de las Refinerías la implementación de un Plan Verde, en donde se fijen medidas fiscales para priorizar en una recuperación verde que incluyan el apoyo directo a las tecnologías e infraestructuras de cero emisiones de gases, la reducción de los subsidios a los combustibles fósiles, la eliminación de nuevas plantas de carbón y el impulso de las soluciones basadas en la naturaleza, incluyendo la restauración de paisajes a gran escala y la reforestación.

Con los equipos adquiridos por la Refinería de Barrancabermeja se puede indicar que se recomiendan para que las demás industrias en el país, puedan y vayan sustituyendo los equipos, pues con el uso y ajuste adecuado le logra una eficiencia en la optimización de procesos trayendo como resultados el procesamiento de gran cantidad de crudo, evitando la acumulación de energía y la emisión de gases al ambiente.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo, Y., Niño, Z., & Ramos, A. (2010). *Riesgos ambientales por emisiones atmosféricas en una refinería de Petróleo*. Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v17n3/art09.pdf>
- Agenda 2030 transformando a Colombia. (s.f.). Obtenido de [https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/environment\\_energy/agenda-2030-transformando-colombia.html](https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/library/environment_energy/agenda-2030-transformando-colombia.html)
- Arciniegas, D. (2020). *Desarrollo de herramienta de control operacional para la mejora en el desempeño energético de los hornos de la unidad de destilación primaria U-200 de la GRB*. Obtenido de <https://docplayer.es/213618356-Daniel-orlando-arciniegas-serrano.html>
- Banco Mundial. (2019). *Emisiones de CO2 kt Colombia*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2018&locations=CO&start=2010>
- Bautista, J., Bayona, J., Castilla, N., Leiva, L., Montoya, D., Orozco, J., . . . Valenzuela, D. (03 de 2006). *Refinación y Transporte de Petróleo, gas y derivados*. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjyvmX\\_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjyvmX_bvyAhUGQTABHZYWBPoQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.sena.edu.co%2Fbitstream%2F11404%2F2137%2F1%2F3055.pdf&usg=AOvVaw2PgyOw9211T7jtM-gtJ1pd)
- Bermúdez, E. (21 de 02 de 2005). *Eficiencia energética de la caldera pirotubular colmáquinas de 250 BHP de un laboratorio farmacéutico*. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/handle/10614/5361>

- Blasco, J., & Pérez, J. (2007). *Metodologías de investigación en ciencias de la actividad física y el deporte*. España: Editorial Club Universitario.
- Bonilla, D., & Rodríguez, J. (s.f.). Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/142957.pdf>
- Borroto, A. (2005). *Ahorro de Energía en Sistemas de Vapor*. Cuba: Cienfuegos.
- Caballero, J., & Higuera, L. (2015). *Estudio de Prefactibilidad para la construcción de un Sistema Cerrado de Recuperación de Hidrocarburos en las unidades de refinación de crudos de la Gerencia Refinería Barrancabermeja*. Obtenido de Universidad Industrial de Santander: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/157727.pdf>
- Cala, O., Meriño, L., Kafarov, V., & Saavedra, J. (2013). *Efecto de la Composición del gas de Refinería sobre las características del proceso de combustión*. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/700/641>
- Canales, C., Cortés, V., Avellaneda, A., Monfá, E., Silvia, S., Del Castillo, G., . . . Fandiño, C. (2004). *Guía de Mejores Técnicas disponibles en España del sector refino del Petróleo*. Obtenido de <https://prtr-es.es/data/images/Gu%C3%ADa%20MTD%20en%20Espa%C3%B1a%20Sector%20Refino-CA3011F7BAF05D92.pdf>
- Cardona, M. C. (2002). *Estado de la información forestal en Colombia*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/AD392S/AD392s06.htm#TopOfPage>
- Carmona, A. (2012). *Evaluación de bio-dispersantes de azufre en la regeneración de catalizadores gastados*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://132.248.9.195/ptd2012/octubre/0685051/0685051.pdf>

- Castro, L., & Mejía, Y. (2015). *Evaluación del uso de dióxido de carbono (CO2) como agente neutralizante de las aguas residuales industriales de la gerencia refinería Barrancabermeja Ecopetrol SA. a escala de laboratorio.* Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/324970553\\_EVALUACION\\_DEL\\_USO\\_DE\\_DIOXIDO\\_DE\\_CARBONO\\_CO2\\_COMO\\_AGENTE\\_NEUTRALIZANTE\\_DE\\_LAS\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_INDUSTRIALES\\_DE\\_LA\\_GERENCIA\\_REFINERIA\\_BARRANCABERMEJA\\_GRB\\_ECOPETROL\\_SA\\_A\\_ESCALA\\_LABORATORIO](https://www.researchgate.net/publication/324970553_EVALUACION_DEL_USO_DE_DIOXIDO_DE_CARBONO_CO2_COMO_AGENTE_NEUTRALIZANTE_DE_LAS_AGUAS_RESIDUALES_INDUSTRIALES_DE_LA_GERENCIA_REFINERIA_BARRANCABERMEJA_GRB_ECOPETROL_SA_A_ESCALA_LABORATORIO)
- Catalunya. (2011). *Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del 2011.* Obtenido de <https://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
- Correa, C. (07 de 04 de 2021). *Colombia Carbono Neutral', una estrategia para combatir el cambio climático.* Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/5028-colombia-carbono-neutral-una-estrategia-para-combatir-el-cambio-climatico>
- datosmacro.com. (2019). *En Colombia se incrementan las emisiones de CO2.* Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia>
- Decreto 948. (05 de 06 de 1995). *Reglamento de protección y control de la calidad del aire.* Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec\\_0948\\_1995.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf)
- Fundación Labein. (2005). *Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire.* Obtenido de [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eprtr/es\\_guia/adjuntos/residuos.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eprtr/es_guia/adjuntos/residuos.pdf)
- Galvis, C. (2008). *Optimización del Sistema de Generación de Vapor de la Empresa INCAUCA SA.* Obtenido de

<https://red.uao.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/10614/6105/T04108.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, R. (2016). *Las entidades locales y los objetivos de desarrollo sostenible. Algunas notas sobre la naturaleza jurídica de la Agenda 2030*. Obtenido de Fundación Musol de Cooperación Internacional para el Desarrollo: <https://revistasonline.inap.es/index.php/REALA/article/view/10347/10922>

Granados, E., Bravo, H., Sosa, R., López, X., García, C., & Sánchez, P. (2015). *Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v16n4/v16n4a3.pdf>

Herrera, T., & Rodríguez, J. (2020). *Políticas mundiales para la disminución de emisión de CO<sub>2</sub> y sus posibles efectos en el precio de los hidrocarburos en la balanza comercial de Colombia*. Obtenido de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/17097/Tomas\\_HerreraCuervo\\_JuanIgnacio\\_RodriguezPadron\\_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/17097/Tomas_HerreraCuervo_JuanIgnacio_RodriguezPadron_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

James, G., Glenn, H., & Mark, K. (2007). *Petroleum Refining: Technology and Economics*. USA: CRC.

Jímenes, J. (2012). *aprovechamiento de corrientes residuales de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> como alternativa para reducir la huella de carbono de la gerencia refinera de Barrancabermeja*. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/145043.pdf>

López, A. (2011). *Emisiones de CO<sub>2</sub> En El Sector Industrial Presente y Futuro En España*. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13347/PFC\\_Alberto\\_Lopez\\_Hualda\\_12-12-2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13347/PFC_Alberto_Lopez_Hualda_12-12-2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Martín, J. (2005). *Análisis y Evaluación de la Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Industria del Petróleo y el Gas*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral.: <http://oa.upm.es/278/1/05200511.pdf>
- Martínez, A. (09 de 2018). *Estudio sobre el Impacto de la Actividad Petrolera en las Regiones Productoras de Colombia. Caracterización Departamental Santander*. Obtenido de [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3669/CDF\\_No\\_66\\_Septiembre\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3669/CDF_No_66_Septiembre_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez, A., Núñez, J., & Delgado, M. (2017). *Estudio sobre el impacto de la actividad petrolera en las regiones productoras de Colombia*. Obtenido de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3509>
- Materán, M. (2018). *Eficiencia Energética en Refinerías de Petróleo*. Obtenido de <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/49/92>
- Merino, M. (2015). *Efecto Invernadero*. Obtenido de <https://definicion.de/effecto-invernadero/>
- Naciones Unidas. (2015). *Resolución 70/1*. Obtenido de [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf)
- Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Santander. (2030). Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion\\_\\_al\\_territorio/santander\\_pag.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/santander_pag.pdf)
- Porto, J., & Merino, M. (2013). *Definición de Petróleo*. Obtenido de <https://definicion.de/petroleo/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2017). *Objetivo 13: Acción por el clima*. Obtenido de <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-13-climate-action.html#:~:text=2050,el%20cero%20alrededor%20de%202050.>

Pulido , A., & Sierra , M. (2009). *Capítulo 2. Modulo de Energía*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021471/InventarioGEI/IDEAM2.pdf>

Realpe, K. (03 de 2014). *Evaluación de la eficiencia de la planta productora de azufre de Refinería Estatal Esmeradas*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/7200>

Resolución 0802. (30 de 05 de 2014). *Se modifica la Resolución 909 de 2008*. Obtenido de <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>

Resolución 1076. (26 de 05 de 2015). *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/decreto\\_1076.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/decreto_1076.pdf)

Resolución 1309. (13 de 07 de 2010). *Modificación la Resolución 909 del 5 de junio de 2008*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/48-Resoluci%C3%B3n%201309%20de%202010%20-%20Modifica%20parcialmente%20Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008.pdf>

Resolución 1377. (09 de 06 de 2015). *Por la cual se modifica la Resolución 909 de 2008 y se adoptan otras disposiciones*. Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/11-res\\_1377\\_jun\\_2015.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/11-res_1377_jun_2015.pdf)

Resolución 18-1495. (02 de 09 de 2009). *Medidas en materia de Exploración y Explotación de Hidrocarburos*. Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/4033207>

Resolución 2153. (02 de 11 de 2010). *Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.* Obtenido de

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

Resolución 551. (19 de 03 de 2009). Obtenido de [https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/res\\_0551\\_190309.pdf](https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/res_0551_190309.pdf)

Resolución 552. (19 de 03 de 2009). Obtenido de [https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/res\\_0552\\_190309.pdf](https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/res_0552_190309.pdf)

Resolución 619. (07 de 07 de 1997). *Factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.* Obtenido de

[https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion619\\_19970707.htm](https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion619_19970707.htm)

Resolución 760. (20 de 04 de 2010). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.*

Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/88-Resoluci%C3%B3n%200760%20de%202010%20-%20Adopci%C3%B3n%20Protocolo%20Fuentes%20Fijas.pdf>

Resolucion 886. (27 de 07 de 2004). *Emisión en incineradores y Hornos Crematorios.* Obtenido

de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/65-Resoluci%C3%B3n%20886%20de%202004%20-%20Modifica%20Resoluci%C3%B3n%20058%20de%202002.pdf>

Resolución 909. (05 de 06 de 2008). *Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.* Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>

Resolucion 910. (05 de 06 de 2008). *Reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527825/Resoluci%C3%B3n+910+de+2008.pdf/cfa30330-66e9-41c2-b5b6-af2559c508eb>

Rodrigo, L., Cuervo, M., Gómez, J., & Toro, M. (2001). *Emissiones al Ambiente en Colombia*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap13.pdf>

Sachica, J. (2015). *Plan de Gestión Orientado a la Mitigación de emisiones de gases efecto invernadero en la vicepresidencia regional central de Ecopetrol SA*. Obtenido de UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160248.pdf>

Sánchez, J., & Mejía, A. (2005). *Análisis del Sistema de Recuperación de Condensado en las Áreas de vapor y energía de la Refinería GCB*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/306262440\\_ANALISIS\\_DEL\\_SISTEMA\\_DE\\_RECUPERACION\\_DE\\_CONDENSADO\\_EN\\_LAS\\_AREAS\\_DE\\_VAPOR\\_Y\\_ENERGIA\\_DE\\_LA\\_REFINERIA\\_GCB](https://www.researchgate.net/publication/306262440_ANALISIS_DEL_SISTEMA_DE_RECUPERACION_DE_CONDENSADO_EN_LAS_AREAS_DE_VAPOR_Y_ENERGIA_DE_LA_REFINERIA_GCB)

Sánchez, M., De Lara, S., Hernández, A., & García, R. (2004). *Modernización del sistema de control de una unidad turbogas de la CFE en la Comarca Lagunera*. Obtenido de <https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/20611744>

Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia. (2020). *ideam.gov.co*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM\\_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54)

Significados.com. (25 de 11 de 2019). *Qué es Petróleo*. Obtenido de <https://www.significados.com/petroleo/>

Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El Proceso de la Investigación Científica*. México: LIMUSA.

Villaba, P. (2016). *Monitorización de indicadores clave energéticos en una unidad de destilación de una refinería de petróleo mediante minería de datos*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/71608/VILLALBA%20-%20Monitorizaci%C3%B3n%20de%20indicadores%20clave%20energ%C3%A9ticos%20en%20una%20unidad%20de%20destilaci%C3%B3n%20de%20una%20re....pdf?sequence=2>