

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Estimación volumétrica de emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso de combustibles fósiles en una estación de producción petrolera mediante el análisis por sistemas

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **Ingeniero en Petróleo**

Presentado por:

Bismark Alexis Mendoza Morán

Ilenia Mariela Abifandi Morales

GUAYAQUIL - ECUADOR

Febrero 2023

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de investigación lo dedicamos a Dios, nuestro Señor quien ha sido nuestra guía, refugio y fortaleza a lo largo de esta travesía  
A nuestra familia cuyo amor y cuidados jamás nos abandonaron.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos profundamente a Dios, nuestro Señor, por permitirnos culminar esta etapa.

A nuestra familia, por demostrarnos su amor y siempre alentarnos a perseverar.

A nuestros tutores, por su paciencia y dedicación.

A nuestros profesores, por compartir su sabiduría con nosotros.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Bismark Alexis Mendoza Morán e Ilenia Mariela Abifandi Morales* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Bismark Alexis  
Mendoza Morán



---

Ilenia Mariela  
Abifandi Morales

# EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:  
FERNANDO JAVIER  
SAGNAY SARES

---

**MSc. Fernando Sagnay**  
PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:  
DANILO ANDRES  
ARCENTALES BASTIDAS

---

**MSc. Danilo Arcentales**  
PROFESOR TUTOR



Firmado electrónicamente por:  
KENNY FERNANDO  
ESCOBAR SEGOVIA

---

**MSc. Kenny Escobar**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

No se puede negar que toda actividad humana genera un impacto. Los avances científicos, industriales y tecnológicos que han permitido el nivel de desarrollo de nuestra sociedad han hecho mella en el equilibrio ecológico del planeta. La industria hidrocarburífera no está exenta de responsabilidad, pues pertenece al sector de mayor contribución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), cuyos efectos influyen directamente en el fenómeno de preocupación mundial conocido como “Cambio Climático”. Por esta razón, con el fin de frenar sus consecuencias, la industria no debe escatimar esfuerzos en cuanto a investigación y análisis respecto a su contribución de agentes contaminantes. Este trabajo tiene como objetivo cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan en la estación de producción FICT debido al uso de combustibles fósiles que permiten llevar a cabo los procesos de producción de pozos petroleros. Para lograrlo se recurrió a la metodología propuesta por las Directrices del IPCC, siguiendo el enfoque del método sectorial que emplea la información oficial de consumo de combustibles y lo evalúa de acuerdo con el nivel de complejidad metodológica seleccionado. El primer paso fue recopilar la información del consumo diario de gas natural, diésel y petróleo crudo por parte de la estación para un periodo de un mes. A continuación, se emplearon los factores de emisión por defecto de donde se obtuvo las emisiones diarias de los principales GEI. Realizados estos cálculos, mediante el potencial de calentamiento global (PCG) se pudo determinar la masa de  $CO_2$  equivalente para cada gas que indica la huella de carbono asociada a las actividades de producción. De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que para todo combustible el  $CO_2$  fue el gas con mayor incidencia contaminante ya que para el diésel fue de 120.559.484,74 kg de  $CO_2$ , para el crudo fue de 1.909.606,25 kg de  $CO_2$  y para el gas natural fue de 11.732,01 kg de  $CO_2$ , valores que distan notablemente de las emisiones referentes al  $CH_4$  y  $N_2O$ . En cuanto a la contribución en kg de  $CO_2$  eq. el diésel fue del 98,43%, del crudo fue 1,56% y del gas natural fue 0,01%. Finalmente, con estos resultados se desarrolla un inventario para el tiempo analizado, donde se pueden apreciar las emisiones diarias de cada GEI para cada uno de los combustibles consumidos.

**Palabras clave:** Combustibles fósiles, estación de producción, gases de efecto invernadero, IPCC.

## **ABSTRACT**

*It is a fact that all human activity generates an impact. The scientific, industrial, and technological advances that have allowed the level of development of our society have made a dent in the ecological balance of nature. The hydrocarbon industry is not exempt from responsibility, since it belongs to the sector with the highest contribution of greenhouse gas (GHG) emissions, whose effects directly influence the phenomenon of global concern known as climate Change. For this reason, the industry should spare no effort in research and analysis regarding its contribution to pollution. The main objective of this work is to quantify the greenhouse gas emissions generated in the FICT production facilities station due to the use of fossil fuels that allow the carrying out of the production processes of oil wells. To achieve this, the methodology proposed by the IPCC Guidelines was used, following the approach of the sectoral method that uses official information on fuel consumption and evaluates it according to the level of methodological complexity selected. The first step was to collect information about the daily consumption of natural gas, diesel, and crude oil in the station for one month. Next, the default emission factors were used to obtain the daily emissions of the main GHGs. After these calculations, the global warming potential (GWP) was used to determine the carbon dioxide equivalent mass for each gas which helps to indicate the carbon footprint associated with oil production activities. According to the results obtained, was determined that for all fuels, CO<sub>2</sub> was the gas with the highest polluting incidence with values for diesel of 120.559.484,74 kg of CO<sub>2</sub>, crude oil with 1.909.606,25 kg of CO<sub>2</sub>, and natural gas with 11.732,01 kg of CO<sub>2</sub>; values that are notably distant from the emissions related to CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O. Regarding the contribution in kg of CO<sub>2</sub> eq. diesel was 98,43%, crude oil was 1,56%, and natural gas was 0,01%. Finally, these results allow the development of an inventory for the time analyzed, where the daily emissions of each GHG for each fuel consumed can be seen.*

**Keywords:** fossil fuels, production facilities station, greenhouse gases, IPCC.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Marco teórico .....	4
1.4.1 Gases de efecto invernadero .....	4
1.4.1.1 Clasificación de los gases de efecto invernadero .....	4
1.4.2 Efecto invernadero .....	5
1.4.2.1 Efecto invernadero intensificado .....	6
1.4.3 Calentamiento global .....	7
1.4.4 Cambio Climático .....	7
1.4.5 Sectores productores de GEI definidos por las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) .....	8
1.4.6 GEI con mayor participación respecto al total de emisiones en los diferentes sectores productivos .....	8

1.4.7	El sector energético .....	9
1.4.7.1	Combustión por tipo de fuentes .....	9
1.4.8	Industria hidrocarburífera.....	10
1.4.8.1	Fases de la industria petrolera .....	10
1.4.8.2	Proceso de producción de hidrocarburos .....	10
1.4.8.2.1	Sistema de levantamiento artificial: .....	11
1.4.8.2.2	Facilidades de producción.....	13
1.4.8.2.3	Planta de generación .....	15
1.4.8.2.4	Tipos de combustibles utilizados.....	18
CAPÍTULO 2 .....		19
2.	Metodología .....	19
2.1	Metodología IPCC.....	19
2.1.1	Método de referencia.....	20
2.1.2	Método sectorial .....	20
2.2	Elección del método.....	22
2.3	Método de Nivel 1 .....	22
2.3.1	Datos del nivel de actividad (N.A.) .....	22
2.3.2	Un factor de emisión por defecto (F.E.) .....	22
2.3.2.1	Incertidumbres del factor de emisión .....	23
2.4	Procedimiento de obtención de emisiones .....	23
2.4.1	Paso 1: Recolección de información.....	23
2.4.2	Paso 2: Cálculo de masa de combustible consumida .....	23
2.4.3	Paso 3: Obtener valor de conversión.....	24
2.4.3.1	Valor Calórico Neto (VCN) .....	24
2.4.4	Paso 4: Conversión a unidades de energía .....	25
2.4.5	Paso 5: Elección del factor de emisión .....	25

2.4.6	Paso 6: Cálculo de emisiones de GEI.....	25
2.4.7	Paso 7: Cálculo de masa de dióxido de carbono equivalente .....	26
2.4.7.1	Potencial de Calentamiento Global (PCG) .....	26
2.5	Casos de aplicación de la metodología a situaciones similares .....	26
2.5.1	Compañía petrolera ABC Ecuador.....	26
2.5.2	Grupo Repsol YPF .....	27
CAPÍTULO 3 .....		29
3.	Resultados y análisis .....	29
3.1	Resultados.....	29
3.1.1	Cálculo de emisiones.....	29
3.1.2	Cálculo de masa de dióxido de carbono equivalente .....	39
3.2	Análisis de resultados .....	41
CAPÍTULO 4 .....		44
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	44
4.1	Conclusiones .....	44
4.2	Recomendaciones .....	45
BIBLIOGRAFÍA .....		46
APÉNDICES.....		49
APÉNDICE A.....		50

## ABREVIATURAS

AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
API	American Petroleum Institute
BEN	Balance Energético Nacional
BES	Bombeo Electro Sumergible
$CH_4$	Metano
CAPP	Análisis del ciclo de Vida de Proyectos
<i>Cfcs</i>	Clorofluorocarbonos
CMCC	Convención Marco sobre el Cambio Climático
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano
$CO_2$	Dióxido de carbono
ESPOL	Escuela Superior politécnica del Litoral
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
GEI	Gas de Efecto Invernadero
GLP	Gas licuado de petróleo
$H_2O$	Vapor de agua
<i>Hcfc</i>	Hidroclorofluorocarbonos
IPPU	Procesos industriales y uso de productos
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
KoD	Knock out Drum
LRQA	Lloyd's Register Quality Assurance
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
MICSE	Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos
$N_2O$	Óxido nitroso
NPF	North Production Facilities
$O_3$	Ozono – Ozono troposférico
OMM	Organización Mundial de Meteorología
PCG	Potencial de Calentamiento Global
<i>PFCs</i>	Perfluorocarbonos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
$SF_6$	Hexafluoruro de azufre

SPF	South Production Facilities
VCN	Valor Calórico Neto
YPF	Yacimientos Petrolíferos Fiscales

## SIMBOLOGÍA

$\rho$	Densidad
°C	Grados Celsius
bb/d	Barriles por día
Gg	Gigagramo
kg	Kilogramo
kW	kilovatio
$m$	Masa
$m^3$	Metro cúbico
MW	Megavatio
TJ	Terajulios
$V$	Volumen

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación del Efecto Invernadero en la Tierra .....	6
Figura 1.2 Efecto Invernadero versus calentamiento global.....	7
Figura 1.3 Bombeo mecánico .....	11
Figura 1.4 Bombeo electrosumergible .....	11
Figura 1.5 Bombeo por cavidades progresivas.....	12
Figura 1.6 Bombeo hidráulico tipo pistón y tipo jet.....	12
Figura 1.7 Gas lift .....	13
Figura 1.8 Diagrama de proceso de producción de petróleo.....	15
Figura 1.9 Funcionamiento de una turbina a gas .....	16
Figura 1.10 Operación del motor dual.....	17
Figura 3.1 Emisiones de GEI vs Tiempo debido al Gas natural .....	32
Figura 3.2 Emisiones de GEI vs consumo de Gas natural .....	32
Figura 3.3 Emisiones de GEI vs Tiempo debido al Diésel.....	34
Figura 3.4 Emisiones de GEI vs consumo de Diésel .....	34
Figura 3.5 Emisiones de GEI vs Tiempo debido al Petróleo crudo .....	36
Figura 3.6 Emisiones de GEI vs consumo de Petróleo crudo .....	36
Figura 3.7 Emisiones de GEI debido al consumo de combustible fósil .....	37
Figura 3.8 Emisiones de GEI debido al consumo de combustible fósil .....	38
Figura 3.9 Masa de GEI vs Masa de $CO_2$ eq. respecto al uso de combustibles.....	40
Figura 3.10 Porcentaje de $CO_2$ eq. TOTAL, respecto a cada combustible consumido en Estación de Producción FICT .....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Gases de efecto invernadero por su origen .....	5
Tabla 1.2 Gases de efecto invernadero por la forma en que se emiten .....	5
Tabla 2.1 Emisiones directas de Repsol en sus operaciones en el Bloque 16 y la Área de Tivacuno.....	28
Tabla 3.1 Factores de Emisión por defecto para la Combustión Estacionaria en las Industrias Energéticas .....	29
Tabla 3.2 Valores calóricos netos (VCN) por defecto .....	30
Tabla 3.3 Histórico de emisiones diarias de GEI debido al consumo de Gas natural en Estación de Producción FICT .....	31
Tabla 3.4 Histórico de emisiones diarias de GEI debido al consumo de Diésel en Estación de Producción FICT .....	33
Tabla 3.5 Histórico de emisiones diarias de GEI debido al consumo de Petróleo crudo en Estación de Producción FICT .....	35
Tabla 3.6 Emisiones de GEI debido al consumo de combustibles fósiles en Estación de Producción FICT.....	37
Tabla 3.7 Emisiones totales de cada GEI emitido por la Estación de Producción FICT debido al consumo de combustibles .....	38
Tabla 3.8 Valores de potencial de calentamiento global (PCG) respecto a GEI liberados en Estación de Producción FICT .....	39
Tabla 3.9 Masa de $CO_2$ eq. respecto a Masa de GEI emitida por consumo de combustibles en Estación de Producción FICT.....	39
Tabla 3.10 $CO_2$ eq. TOTAL, respecto a cada combustible consumido en Estación de Producción FICT.....	40

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

No se puede negar que toda actividad humana genera un impacto. La creciente demanda en bienes y servicios por parte de la sociedad ha provocado el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. De ahí, que sea uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la humanidad.

Los gases de efecto invernadero o GEI son componentes gaseosos de la atmósfera, que absorben y emiten radiación (proveniente del sol) reflejada por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Y pese a lo que se puede creer, su existencia no es inherentemente perjudicial para la vida en la tierra. De hecho, cumplen un rol necesario para lo que se conoce como efecto invernadero. El cual es una característica fundamental de la tierra que ha permitido que la vida se desarrolle como tal durante siglos. El problema surge cuando debido al aumento de las actividades antropogénicas estos gases ven incrementadas sus emisiones a velocidades que supera la capacidad de absorción de los sumideros, produciendo un calentamiento global que deriva en el fenómeno conocido como “cambio climático”, capaz de ocasionar efectos adversos tales como: alteraciones meteorológicas, pérdida de biodiversidad y complicaciones en la salud humana.

(Benavides & León, 2007)

Existen cinco sectores productores de GEI de acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC): Energía, Procesos industriales y usos de productos (IPPU), Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU), Residuos y Otros. Entre ellos el que más destaca es el sector energético pues contribuye con cerca del 90% de emisiones de  $CO_2$ . Dada esta información y considerando el hecho de que la mayoría de los sistemas de energía en el mundo se mueven a partir de la combustión de combustibles fósiles, es natural intuir que la industria hidrocarburífera sea una de las principales generadoras de GEI.

La etapa de la industria a la que se dedicará el presente trabajo de investigación es la producción de pozos petroleros. Para dicha actividad es necesaria una gran cantidad de insumos (combustibles fósiles) puesto que tan solo extraer petróleo no es suficiente, el beneficio de hacerlo no es rentable si éste no cumple

con los estándares de calidad necesarios para su entrega y comercialización. Por lo que, los hidrocarburos fósiles presentes en la naturaleza deberán ser sometidos a procesos de producción y actividades industriales intensivas antes de su uso final como fuente de energía, procesos involucrados en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

### **1.1 Descripción del problema**

El proceso de producción de pozos petroleros tiene como objetivo que el crudo producido por las operadoras de campos petroleros debe ser entregado limpio (sin contenidos importantes de agua y sedimentos), en la descarga de las Estaciones de Flujo, y por esto debe ser tratado y deshidratado antes de ser entregado a Petrolera Nacional. Tales procesos, involucran para la realización de ciertas actividades la implementación y uso de diversas facilidades, las cuales generan un impacto negativo hacia el medio ambiente. Entre los posibles impactos se tiene: el uso de suelos, deforestación, erosión, pérdida de biodiversidad, ruido, migración de especies nativas, contaminación de fuentes de agua dulce y por supuesto, la contaminación hacia la atmósfera por la liberación de partículas de gases de efecto invernadero (GEI).

(Universidad privada Dr. Rafael Belloso Chacín, n.d.)

Los equipos utilizados en las diferentes actividades a realizarse durante la etapa de producción precisan de una cantidad determinada de insumos; es decir combustibles fósiles y la quema de estos genera la emisión de GEI.

El presente trabajo está enfocado principalmente a determinar y cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en las actividades de producción de pozos petroleros debido al uso de combustibles fósiles.

(Andrade-Castañeda et al., 2017)

### **1.2 Justificación del problema**

El propósito de este trabajo es la obtención de una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante las actividades de producción de hidrocarburos debido al uso de combustibles fósiles realizando un análisis del consumo.

La divulgación de información puede contribuir como referencia en lo que a consumo de combustibles se refiere: a la implementación de facilidades de superficie, de

modo que se puedan elegir los equipos cuya operación tenga el menor impacto posible al medio ambiente. Así también para fabricantes de maquinaria que deseen optimizar sus diseños para evitar un alto índice de contaminación. Finalmente, puede servir para proponer e implementar medidas de remediación y mitigación de impacto ambiental respecto al aporte de emisiones de GEI a la atmósfera.

(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

Considerando que la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es un problema grave a escala mundial, y que por ahora no es posible independizarse por completo de las energías no renovables, la relevancia de este trabajo consiste en un llamado de atención al seguimiento y control de dichas emisiones, determinando los gases predominantes, así como los combustibles que contribuyen mayoritariamente al número de emisiones generadas y por tanto tienen un significativo impacto ambiental, de manera que se busque que las actividades relativas al petróleo sean optimizadas y logren resultados orientados a la sostenibilidad.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en una estación de producción petrolera debido al uso de combustibles fósiles mediante el análisis del consumo.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un inventario que permita observar las emisiones de cada GEI generado en una estación de producción de pozos petroleros.
- Expresar las emisiones de GEI en unidades de  $CO_2$  equivalente con el fin de hacerlas comparables entre sí.
- Definir porcentualmente la contribución de  $CO_2$  equivalente de los combustibles fósiles utilizados por la estación y determinar cuál representa un riesgo contaminante mayor.
- Determinar el GEI de mayor propagación en una estación de producción identificando debido a qué combustible se presenta principalmente.
- Contribuir a la generación de información referente a las emisiones de GEI en la industria petrolera.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) constituyen los componentes gaseosos de la atmósfera que absorben la radiación infrarroja (proveniente del sol) reflejada por la superficie terrestre, la atmósfera y las nubes, para luego emitirla en todas direcciones. (Benavides & León, 2007)

Estos gases, reciben su nombre debido a la analogía que surge entre su comportamiento y el funcionamiento de un invernadero, pues de manera similar en que los cristales de dicha construcción capturan y retienen el calor en el interior del ambiente, los GEI son vitales para mantener la temperatura en la superficie de la tierra.

#### 1.4.1.1 Clasificación de los gases de efecto invernadero

Se clasifican en dos categorías:

##### Por su Origen:

- **Natural:** Tal como indica su nombre, surgen debido a causas naturales y en concentraciones normales no son perjudiciales para la vida. La emisión de estos gases se asocia con: la respiración aeróbica, la descomposición, el proceso digestivo de los rumiantes, actividad volcánica, etc. Su concentración puede aumentar debido a las actividades antropogénicas.
- **Antropogénico:** Se generan debido a la actividad humana, pueden contribuir al aumento de gases de tipo natural o ser íntegramente creación del hombre. Su incremento se dio a partir de la revolución industrial. Al ser liberados en la atmósfera son capaces de absorber grandes cantidades de radiación y contribuir activamente al sobrecalentamiento de la tierra. La emisión de estos gases se asocia con: la quema de combustibles fósiles, actividades forestales y agrícolas, y la producción y empleo de sustancias químicas.

(Benavides & León, 2007)

**Tabla 1.1 Gases de efecto invernadero por su origen [(García, 2021)]**

<b>GEI Naturales</b>	Vapor de agua	$H_2O$
	Dióxido de carbono	$CO_2$
	Metano	$CH_4$
	Óxido nitroso	$N_2O$
	Ozono	$O_3$
<b>GEI Antropogénicos</b>	Clorofluorocarbonos	$Cfcs$
	Hidroclorofluorocarbonos	$Hcfc$
	Hexafluoruro de azufre	$SF_6$
	Perfluorocarbonos	$PFCs$
	Ozono troposférico	$O_3$

**Por la forma en que se emiten:**

- **Directos:** Son gases cuya emisión incide al efecto invernadero tal como son liberados a la atmósfera.
- **Indirectos:** Son gases que precisan sufrir una transformación para tornarse en gases del tipo directo en la atmósfera. Generalmente se tratan de los precursores del ozono troposférico, así como contaminantes locales del aire (humo expulsado por el tubo de escape de un auto).

(Benavides & León, 2007)

**Tabla 1.2 Gases de efecto invernadero por la forma en que se emiten [(García, 2021)]**

<b>GEI Directos</b>	Dióxido de carbono	$CO_2$
	Metano	$CH_4$
	Óxido nitroso	$N_2O$
	Compuestos halogenados	$AOX$
<b>GEI Indirectos</b>	Óxidos de nitrógeno	$NO_x$
	Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano	$COVDM$
	Monóxido de carbono	$CO$

### 1.4.2 Efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero cumplen un rol necesario para lo que se conoce como efecto invernadero “natural”, el cual es una característica esencial de nuestro planeta que ha permitido que exista la vida como tal durante milenios. Básicamente es

el mecanismo por el cual la radiación emitida por el Sol ingresa a la atmósfera, una parte es irradiada de vuelta y vuelve al espacio, y la otra permanece con ayuda de los GEI que retienen y reemiten el calor, manteniendo así la temperatura en la tierra. Sin la presencia de este efecto, la temperatura de la Tierra sería aproximadamente inferior a los  $-18^{\circ}\text{C}$ .

(Baethgen & Martino, n.d.)

(Meseguer et al., n.d.)



Figura 1.1 Representación del Efecto Invernadero en la Tierra. [(Benavides & León, 2007)]

#### 1.4.2.1 Efecto invernadero intensificado

Pese a que el efecto invernadero originalmente es una condición de sumo beneficio para la vida, se ha tornado en una preocupación de carácter global debido al incremento de las emisiones de GEI. Y según lo reportado por las recientes investigaciones, dichas emisiones actualmente se encuentran en las concentraciones más elevadas que se hayan registrado en los últimos 160,000 años. Tal cambio en la composición de la atmósfera ha derivado en un efecto invernadero intensificado, de modo que el equilibrio natural que existía entre la radiación solar entrante y la radiación terrestre saliente se ve afectado, provocando un alza en la temperatura del planeta.

(Baethgen & Martino, n.d.)

### 1.4.3 Calentamiento global

Desde finales del siglo XIX, la temperatura global de la tierra ha experimentado un incremento gradual. Tal incremento corresponde a un calentamiento global, que puede interpretarse como una clara consecuencia de las actividades antropogénicas que generan un alto nivel de emisiones, las cuales retienen la radiación proveniente del sol en la atmósfera. Este fenómeno a su vez provocará alteraciones en el clima.

(Benavides & León, 2007)

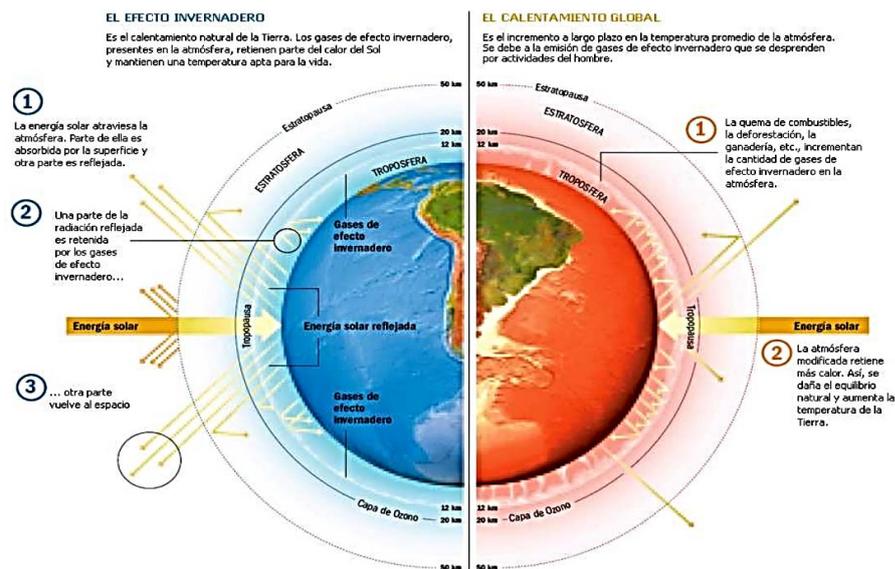


Figura 1.2 Efecto Invernadero versus calentamiento global. [(Benavides & León, 2007)]

### 1.4.4 Cambio Climático

Según la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) es la variación del clima debida a las actividades antropogénicas que modifica la composición de la atmósfera y, por tanto, provoca una inestabilidad climática durante periodos de tiempo considerables. Por su parte, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático (IPCC) lo define como cualquier alteración del clima en el tiempo producto de causas naturales o de las actividades antropogénicas.

Dado el incremento en las concentraciones de los GEI, el clima debe de algún modo intentar ajustarse lo que genera un aumento de la radiación infrarroja que es absorbida por los GEI, con el fin de mantener el equilibrio energético de la atmósfera. Tal ajuste impactará diversas áreas, tales como: la agricultura, recursos hídricos, ecosistemas, salud, etc. (Benavides & León, 2007)

#### 1.4.5 Sectores productores de GEI definidos por las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)

Las estimaciones de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero se dividen en sectores o categorías, que son:

- Energía
- Procesos industriales y uso de productos (IPPU)
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)
- Desechos
- Otros

Entre ellos, destaca el sector energético pues comúnmente aporta más del 90% de las emisiones de  $CO_2$  y 75% del total de las emisiones de GEI de los países desarrollados. El  $CO_2$  regularmente figura como responsable del 95% de las emisiones de este sector, mientras que el  $CH_4$  y el  $N_2O$  corresponden al porcentaje restante.

(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

#### 1.4.6 GEI con mayor participación respecto al total de emisiones en los diferentes sectores productivos

- **Dióxido de carbono ( $CO_2$ ):** Es el gas de efecto invernadero de mayor generación. Tiene origen natural y antropogénico. Suele producirse principalmente por la combustión de combustibles fósiles. De acuerdo con el IPCC, la permanencia en la atmósfera de este gas no se puede definir.
- **Metano ( $CH_4$ ):** Aunque en menor medida que el  $CO_2$  es uno de los gases de efecto invernadero de mayor índice contaminante. Tiene origen natural pero sus emisiones se ven acrecentadas por la actividad humana. Suele producirse debido a la quema de combustibles, las actividades agropecuarias y agrícolas. Tiene una permanencia en la atmósfera de 12 años.
- **Óxido nitroso ( $N_2O$ ):** Aunque en menor medida que el  $CO_2$  es uno de los gases de efecto invernadero de mayor índice contaminante. Tiene origen natural pero sus emisiones se ven acrecentadas por la actividad humana. Suele producirse principalmente debido a la agricultura, sector de desechos, y en menor medida por la combustión de combustibles fósiles. Tiene una

permanencia en la atmósfera de 110 años. (Stocker et al., 2013) (Matallo, 2012)

#### 1.4.7 El sector energético

De acuerdo con el IPCC, este sector productor de GEI incluye los procesos de obtención, transformación, almacenaje, transporte y reparto de energía exceptuando a los procesos que utilicen la energía en sectores de última etapa. (World Energy Council, 2014)

Este sector comprende, principalmente:

- La exploración y producción de fuentes primarias de energía.
- La transformación de las fuentes primarias de energía en formas más útiles mediante refinerías y centrales eléctricas.
- El transporte y distribución de los combustibles.
- El consumo de combustibles por fuentes fijas y móviles.

(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

##### 1.4.7.1 Combustión por tipo de fuentes

- **Fija o estacionaria:** Referente a instalaciones o equipos cuya operación deriva en la emisión de GEI desde un punto fijo. Suele representar el 70% de las emisiones del sector de energía. Las actividades que suelen estar incluidas en esta categoría son: la extracción, la producción y la transformación energética.

*(NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTION O INTRODUCCIÓN, n.d.)*

- **Móvil:** Referente a los equipos cuya operación es susceptible a desplazamiento. Suele representar 1/3 de las emisiones del sector energía. las fuentes que, por razón de su uso o propósito, son susceptibles a desplazarse. Provoca alrededor de un tercio de las emisiones del sector energético. Las actividades incluidas en esta categoría incluyen todas las formas de transporte.(GRUPO CONSULTIVO DE EXPERTOS (GCE), n.d.)

### 1.4.8 Industria hidrocarburífera

Para la mayoría de las economías, los sistemas de energía se mueven por la combustión de los combustibles fósiles. Por lo que, es natural intuir que la industria hidrocarburífera sea una de las que generan mayor concentración de GEI. Esto se debe a que la demanda de energía continúa aumentando a nivel mundial, provocando que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) también lo hagan. Lastimosamente, esta tendencia va a continuar, impulsada principalmente por el crecimiento económico y poblacional.

#### 1.4.8.1 Fases de la industria petrolera

La industria del petróleo se divide normalmente en tres fases:

##### **Upstream**

- **Exploración:** Mediante distintos métodos y técnicas de prospección geológica y sísmica permite hallar yacimientos de hidrocarburos.
- **Producción:** Constituye la obtención del petróleo y gas proveniente del yacimiento, mediante perforación de pozos y construcción de facilidades para su transporte, tratamiento y almacenaje.

##### **Midstream**

- **Almacenamiento y transporte de crudo y derivados:** Hace referencia a los oleoductos, tanques y poliductos, que permiten el transporte y almacenaje de crudo y derivados, desde el lugar de producción hasta otros de consumo exportación o industrialización.

##### **Downstream:**

- **Refinación:** Es aquí donde el crudo se transforma en un producto con valor que es apto para el consumo por parte del cliente.
- **Comercialización:** Se refiere netamente a la venta externa del crudo.

*(APUNTES SOBRE LA EXPLOTACION PETROLERA EN EL ECUADOR, n.d.)*

#### 1.4.8.2 Proceso de producción de hidrocarburos

La producción es la extracción de petróleo y gas del subsuelo. Se requiere de un sistema de levantamiento, facilidades de superficie y una planta de generación que alimente los equipos.

### 1.4.8.2.1 Sistema de levantamiento artificial:

El primer paso para llevar al crudo a superficie es mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Si no existe presión suficiente en el yacimiento, será necesario utilizar un conjunto de equipos y tecnologías que permitan levantar y transportar cargas (hidrocarburos) de manera automatizada.

Existen:

- **Bombeo mecánico:** Este sistema se acciona desde superficie mediante un arreglo de balancín y manivela que provoca un movimiento alterno de las varillas de succión conectadas a la bomba de fondo de pozo.

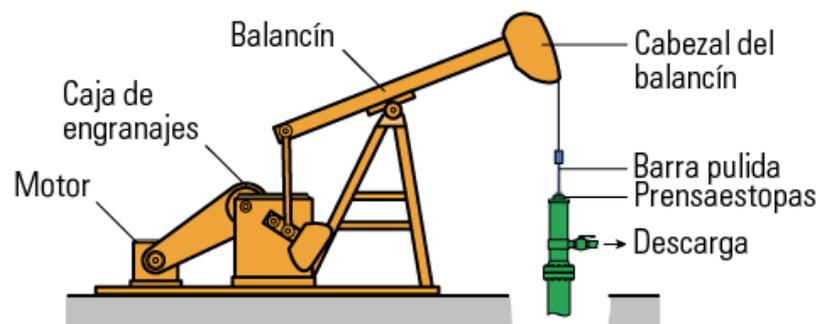


Figura 1.3 Bombeo mecánico [(SLB, n.d.)]

- **Bombeo Electro sumergible (BES):** Se emplea una bomba de fondo de pozo que opera mediante electricidad. Puede poseer secciones de bombas centrífugas de varias etapas cuya configuración depende de las características de del yacimiento a explotar.

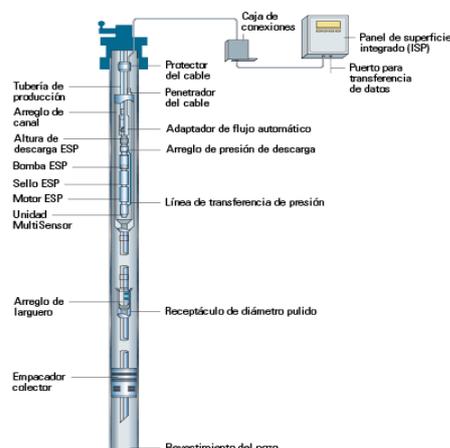


Figura 1.4 Bombeo electro sumergible [(SLB, n.d.)]

- **Bombeo por cavidades progresivas:** Este tipo de bombeo hace uso de una unidad de bombeo con varilla de succión que utiliza un rotor y un estator que permiten que los hidrocarburos asciendan a superficie.

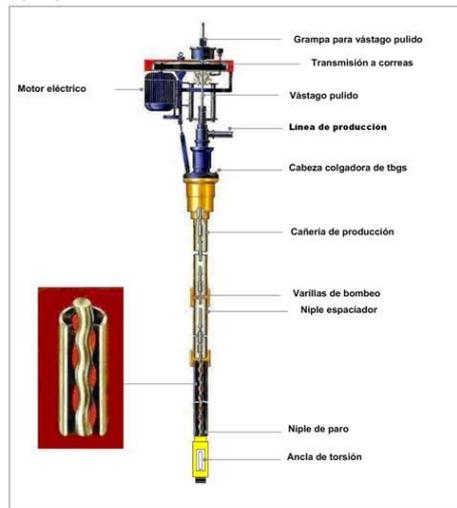


Figura 1.5 Bombeo por cavidades progresivas [(SLB, n.d.)]

- **Bombeo Hidráulico:** Esta clase de sistema de levantamiento, produce y transfiere energía al fondo del pozo a través de la utilización de un fluido presurizado que se inyecta mediante una tubería desde superficie hasta llegar a una unidad de producción ubicada a una profundidad determinada.

(Capítulo 1 Fundamentos de Los Sistemas Artificiales de Producción, n.d.)

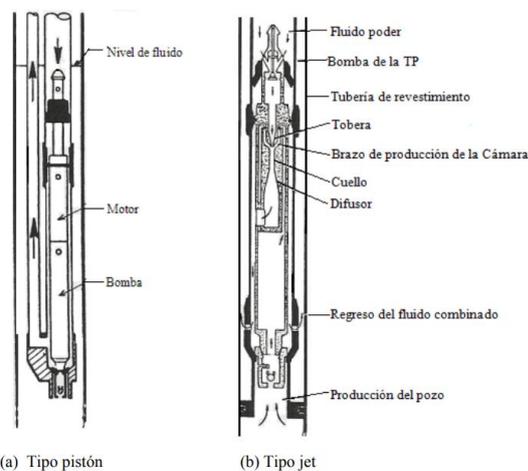
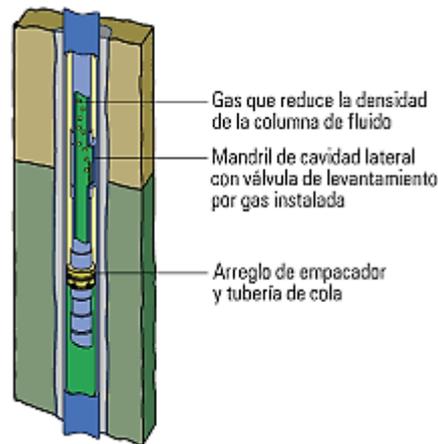


Figura 1.6 Bombeo hidráulico tipo pistón y tipo jet [(SLB, n.d.)]

- **Gas lift:** Se emplea gas, el cual es inyectado a través de una tubería de producción al pozo. Esta operación disminuye la presión de la columna de fluido lo que provoca que los hidrocarburos asciendan a superficie a una tasa de flujo más rápida.



**Figura 1.7 Gas lift [(SLB, n.d.)]**

(Manthra Comunicación integral y Producción editorial, 2013)

#### 1.4.8.2 Facilidades de producción

Se trata de un conjunto de equipos interrelacionados para recibir, tratar, medir, almacenar y bombear los fluidos provenientes de los pozos ubicados en sus alrededores.

Existen diferentes clases de facilidades de superficie que son las que ayudarán a que el petróleo sea purificado para así poder ser puesto en venta o llevado a las refinerías.

Se tienen los sistemas:

- **Transporte:** Radica en direccionar el crudo desde de los pozos productores que se encuentran alrededor la estación de producción a través de tuberías expuestas a la intemperie o enterradas.
- **Separación:** Se utilizan separadores horizontales y verticales para separar el gas que se encuentra junto al crudo desde los pozos. Para realizar este proceso se requiere de energía eléctrica para el correcto funcionamiento de los separadores de los cuales emana gas natural y otros olores ofensivos.
- **Calentamiento:** El crudo es anticipadamente calentado en un intercambiador de calor para reducir su viscosidad. Generalmente, se utiliza vapor para el

funcionamiento de los hornos, de los cuales se generan condensados de vapor.

- **Demulsificación:** En esta etapa se realiza la ruptura de las emulsiones lo que permite la eliminación del agua. La mayoría de estos procesos se basa en aplicación de calor y agentes tensoactivos.
- **Medición de petróleo:** Se debe realizar la medición y reporte de producción - rendimiento de los fluidos a comercializar por la empresa.
- **Almacenamiento del Petróleo:** La producción diaria de los pozos después de haber atravesado cada uno de los procesos de purificación es enviada a ser almacenada al patio de tanques para su eventual despacho. Para el desarrollo de esta etapa se utiliza energía eléctrica para el funcionamiento de bombas.

Al mismo tiempo, las facilidades para el procesamiento central constan de los siguientes equipos de acuerdo con las fases con las que se involucran:

**Fase crudo:**

- Separadores bifásicos o trifásicos.
- Calentadores
- Bota de gas
- Tanque de lavado y almacenamiento
- Bombas (booster y de transferencia)
- Lack unit

**Fase agua:**

- Tanque de almacenamiento
- Bombas (booster y de reinyección)
- Planta de tratamiento (dependiendo del caso)

**Fase gas:**

- KoD (Knock out Drum) de alta y baja presión
- Scrubber
- Flares (quemadores de gas)

(Ministerio del Ambiente (MAE), n.d.)

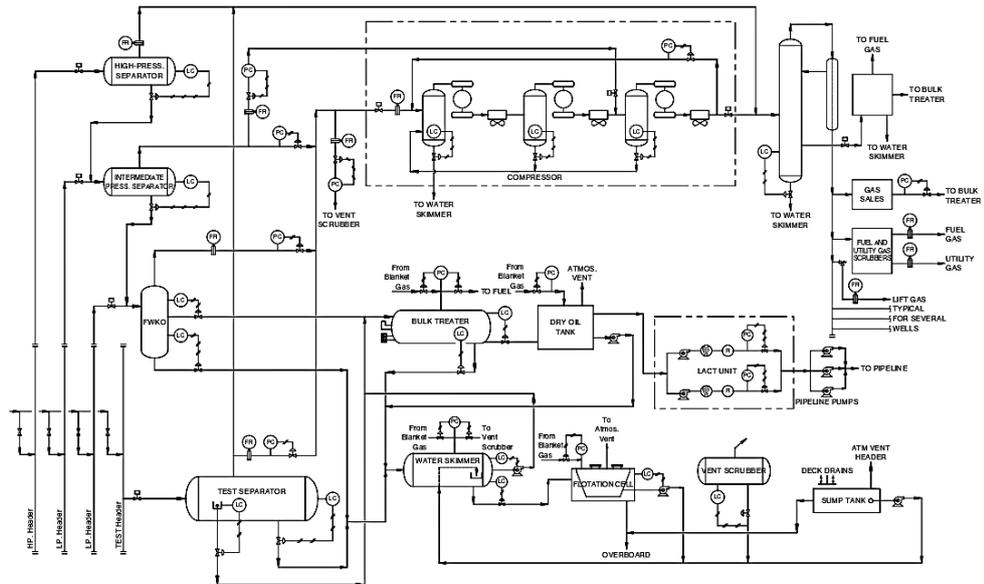
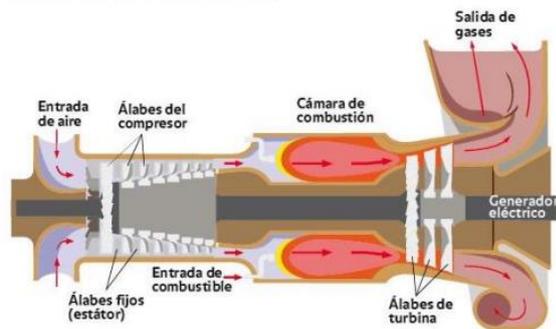


Figura 1.8 Diagrama de proceso de producción de petróleo [(Arnold & Stewart, 2008)]

### 1.4.8.2.3 Planta de generación

Se debe contar con una instalación de generación para abastecer la demanda generada por la explotación de estos pozos. Se emplean diversos equipos, como motores y turbinas, que pueden funcionar con diferentes tipos de combustibles.

- Turbina a gas:** Las turbinas de gas funcionan en el ciclo termodinámico Brayton, en el cual el aire comprimido es combinado con un combustible y quemado bajo presiones estables. Estas turbinas son similares a las turbinas de vapor debido a que ambas cuentan con palas sujetas al eje. No obstante, la turbina de gas incluye un elemento adicional, el compresor, que también está formado por palas unidas al mismo eje de la turbina. Aquí, el aire ambiental es aspirado y comprimido. Luego, se calienta en la cámara de combustión a través de la quema de un combustible y pasa por la turbina. Los gases calientes accionan la turbina, que a su vez hace girar el compresor y el generador eléctrico. Comúnmente se utiliza gas natural como combustible, pero también se puede emplear GLP o diésel.



**Figura 1.9 Funcionamiento de una turbina a gas [(Álvarez & Ocapana, 2015)]**

- **Motor a diésel:** Un motor diésel, que funciona a diésel, genera movimiento a través de la quema de combustible y este movimiento se convierte en electricidad mediante el uso de electromagnéticos. El motor y el generador electromagnético están conectados por un eje, lo que permite transferir el movimiento generado por el motor a los imanes del generador. Estos motores diésel presentan una eficiencia eléctrica del 30-50% y pueden producir potencias comprendidas entre 0.05-15 MW.
- **Motores a Gas:** Los motores de encendido por chispa son ideales para aplicaciones que requieren un funcionamiento constante y confiable. Estos motores siguen el ciclo Otto, que consiste en la mezcla de combustible gaseoso en una cámara previa de combustión a una presión de 5 bares (72 psi) y su posterior encendido por medio de una bujía. En este ciclo, se utiliza el gas natural como combustible, especialmente cuando la disponibilidad de gas es constante y el porcentaje de metano es elevado (80% Molar). La eficiencia del eje de estos motores puede alcanzar hasta el 46%, lo que los convierte en una opción muy competitiva en términos de eficiencia energética. Además, en la actualidad, el motor más grande producido de este tipo puede generar una impresionante potencia de 9000 kW, lo que lo hace ideal para aplicaciones con una demanda de energía significativa.
- **Motores BI-FUEL:** Para satisfacer las demandas de generación de energía, el sistema BI-FUEL brinda la posibilidad de emplear una combinación de gas y diésel como combustible en los motores. Estos motores de tipo Gas-Diésel son altamente flexibles en cuanto a la proporción de gas y diésel que pueden utilizar, variando desde un 10% hasta un 97% de gas en la mezcla total de

combustible. Además, en caso de ser necesario, estos motores también pueden funcionar únicamente con combustible líquido, como petróleo crudo o diésel. Esta característica les permite adaptarse a diferentes condiciones y requerimientos de operación, ofreciendo una solución eficiente y confiable para la generación de energía.

- **Motores Duales:** Los motores a bicomcombustible ofrecen una flexibilidad sin igual, pues pueden funcionar tanto con gas como con combustibles líquidos. A diferencia de la tecnología de motores de Gas-Diésel, los motores duales requieren de un suministro de gas de alta calidad y constante para su funcionamiento óptimo. Además, para su funcionamiento con combustibles líquidos, requieren diésel o fuel pesado. Durante su funcionamiento, este motor puede cambiar su modo de operación sin inconvenientes, alternando entre uso de gas y uso de combustible líquido (ya sea diésel o fuel pesado) según sea necesario. Incluso, es posible que opere con ambos combustibles simultáneamente, combinando al 100% combustible líquido o combinando al 99% gas y al 1% combustible líquido para lubricar el gas combustible.



**Figura 1.10 Operación del motor dual [(Álvarez & Ocapana, 2015)]**

(Álvarez & Ocapana, 2015)

#### 1.4.8.2.4 Tipos de combustibles utilizados

Los combustibles usados en la etapa de producción de pozos son los siguientes:

- **Petróleo crudo:** El petróleo crudo es una sustancia natural compuesta por una mezcla de hidrocarburos. Es un aceite mineral con una apariencia que puede variar desde el amarillo hasta el negro, dependiendo de su composición. La densidad y viscosidad del petróleo crudo también pueden variar. Además, puede incluir el condensado recuperado de hidrocarburos gaseosos. Este material es uno de los recursos más valiosos en la industria energética, ya que se utiliza como una fuente principal de combustible para generar energía.
- **Diésel:** El diésel es un tipo de combustible obtenido a partir del proceso de destilación del petróleo crudo. Existen dos categorías principales de diésel: los gasóleos y los gasóleos pesados. Los gasóleos son la fracción mínima resultante de la destilación atmosférica, mientras que los gasóleos pesados son resultado de la redestilación en vacío. El diésel se obtiene a través de un proceso de destilación que tiene lugar entre 180 °C y 380 °C, lo que permite que el diésel sea disponible en diferentes formas para diferentes aplicaciones, tales como en vehículos, calefacción industrial y comercial, y procesos petroquímicos.
- **Gas Natural:** El gas natural es una fuente de energía formada por una mezcla de hidrocarburos gaseosos. Incluye el gas natural utilizado para el consumo humano, que es un gas de alta calidad y alto poder calórico producido a partir de la combinación de diferentes gases derivados de fuentes primarias. Este gas se distribuye a través de una red de suministro específica y también incluye el gas natural sintético, un gas fabricado a través de procesos químicos utilizando combustibles fósiles como gas natural, petróleo, carbón y esquisto bituminoso. Es importante destacar que el gas natural es una fuente de energía renovable y versátil que se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde el suministro de energía doméstica hasta la generación de energía eléctrica en centrales térmicas y la industria petroquímica  
(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Para llegar a una estimación precisa de las emisiones de gases de efecto invernadero emitidos, se utilizó un enfoque sistemático que siguió la metodología del IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Este grupo científico internacional fue establecido en 1988 por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) con la finalidad de brindar información objetiva y actualizada sobre el impacto del cambio climático. El IPCC publica evaluaciones periódicas y detalladas sobre el cambio climático, y ofrece soluciones de adaptación y mitigación para abordar los futuros desafíos relacionados con el cambio climático. Además de proveer información a los tomadores de decisiones, el IPCC también trabaja en colaboración con otros grupos científicos para desarrollar herramientas y métodos avanzados para la estimación de gases de efecto invernadero. (IPCC – Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2019)

El IPCC es responsable de establecer y actualizar constantemente las metodologías para la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global. Esto permite tener una comprensión precisa y actualizada de la contribución de cada país a la emisión de gases de efecto invernadero y su impacto en el cambio climático. Con esta información, se pueden tomar medidas efectivas y coordinadas a nivel internacional para abordar los riesgos y desafíos del cambio climático.

(Martínez-Prado, 2016)

### 2.1 Metodología IPCC

El IPCC, en 2006, estableció dos metodologías para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional. Estos dos enfoques incluyen el enfoque de referencia y el enfoque sectorial. Ambas estrategias han sido recomendadas por el IPCC y han sido actualizadas y revisadas regularmente para garantizar su efectividad y precisión en la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante destacar que estas técnicas son utilizadas a nivel

internacional y contribuyen a tener una comprensión global de la situación actual y futura del cambio climático. (National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

### **2.1.1 Método de referencia**

El presente método presenta un enfoque para estimar las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía consumida en un país, incluso en situaciones en las que las personas encargadas de crear el inventario no tienen acceso a recursos y estructuras de datos amplios. Esta técnica resulta útil en contextos en los que los recursos disponibles son limitados y se requiere una evaluación precisa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante destacar que esta técnica permite obtener una estimación básica de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual es esencial para la planificación y la toma de decisiones a nivel nacional en materia de mitigación y adaptación al cambio climático. (National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

El método de referencia brinda una estimación general de las emisiones de gases de efecto invernadero en un país, basado en la energía suministrada. Sin embargo, esta técnica solo es capaz de identificar los tipos principales y secundarios de combustible, no permitiendo diferenciar entre las emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles. Para lograr esta estimación, se emplea información contenida en el Balance Energético Nacional (BEN) publicado anualmente por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE). (Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), 2016)

### **2.1.2 Método sectorial**

El enfoque sectorial se fundamenta en los datos oficiales de consumo de energía recopilados por los sectores productivos relevantes en el país. Esto proporciona una evaluación más precisa de la cantidad de combustible utilizada en cada sector productivo. La recopilación de estos datos se realiza por medio de encuestas y registros oficiales que permiten obtener una imagen más clara y detallada del consumo energético en el país. (Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), 2016)

Este enfoque, conocido como método sectorial, se basa en datos oficiales recogidos por los principales sectores productivos del país para estimar el consumo total de combustible por sector. La información se toma en cuenta en forma de estadísticas de uso de energía, midiéndose en Terajulios. Para aplicar este método, los datos de

consumo de combustible deben ser previamente convertidos a la cantidad de energía contenida en esos combustibles. Además, este método se puede clasificar en diferentes niveles, con una gradación de complejidad metodológica señalada por un número. En general, existen tres niveles: Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3. Mientras el Nivel 1 es el método más simple, el Nivel 3 es el más complejo y requiere una mayor cantidad de datos. Los niveles 2 y 3 son conocidos como métodos avanzados y se consideran más precisos en comparación con el Nivel 1. (National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

A continuación, un breve resumen de cada rango:

- **Nivel 1:** Este nivel se basa en el consumo de combustible y estima las emisiones a partir de datos oficiales sobre el consumo de combustibles, normalmente provenientes de las estadísticas nacionales de energía. La estimación se realiza utilizando factores de emisión promedio para todos los gases relevantes de efecto invernadero. No demanda información de consumo detallada.
- **Nivel 2:** Este nivel ofrece un enfoque intermedio para la estimación de emisiones de la combustión. Aquí se utilizan factores de emisión específicos del país (considerando tipos de combustibles y tecnologías), en lugar de los factores por defecto del Nivel 1, basados en estadísticas similares de consumo de combustible. Al utilizar factores de emisión específicos, es posible desagregar aún más los datos de la actividad y reflejar correctamente las fuentes desagregadas.
- **Nivel 3:** El Nivel 3 se centra en la obtención de estimaciones más precisas y requiere un mayor esfuerzo y datos detallados. Se basa en mediciones o modelos detallados de emisión en el nivel de la planta individual. Para lograr una buena estimación, es importante asegurarse de que estos modelos o mediciones estén bien validados y compararlos con las estadísticas de energía, realizar una evaluación exhaustiva de incertidumbres y errores sistemáticos, y tener en cuenta que pueden existir diferentes tipos de incertidumbres con el uso de estos modelos.

(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

## **2.2 Elección del método**

Considerando la data de la que se dispone, para lograr los resultados deseados, se ha optado por la aplicación de las Directrices del IPCC del 2006. Siguiendo el enfoque del método sectorial – Nivel 1 pues resulta más apropiado para la investigación, debido a que:

- Es eficiente, al producir resultados con un nivel aceptable de exactitud.
- Es de sencilla aplicación al requerir menos tiempo y recursos
- Facilita el uso de factores de emisión por defecto, los cuales son proporcionados por la guía del IPCC.
- Es adecuado para países que no cuentan con información detallada sobre sus emisiones, como Ecuador ya que los otros rangos por ser más precisos requieren de factores de emisión basados en la tecnología y ser específicos del país.

(National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

## **2.3 Método de Nivel 1**

Para aplicar una estimación de emisión de Nivel 1 se requiere lo siguiente para cada categoría de fuente y combustible:

### **2.3.1 Datos del nivel de actividad (N.A.)**

Se refiere a información acerca de la cantidad de actividad humana que genera emisiones o absorciones durante un período específico. Por ejemplo, en el sector energético, el N.A. se representa por la cantidad de combustible consumido en una categoría determinada de origen. Estos datos permiten tener una idea general sobre la magnitud de las emisiones relacionadas con cierta actividad humana.

(Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), 2016)

### **2.3.2 Un factor de emisión por defecto (F.E.)**

Un factor numérico que representa la cantidad de emisiones producidas por unidad de actividad humana. Este factor está basado en una estimación estándar y se utiliza para relacionar la magnitud de la actividad humana con las emisiones resultantes. Por ejemplo, en el sector de energía, un factor de emisión por defecto podría ser la cantidad de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) emitido por unidad de combustible quemado. Estos

valores están disponibles en una amplia gama y su incertidumbre también es parte de la información suministrada.(Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), 2016)

### **2.3.2.1 Incertidumbres del factor de emisión**

El grado de incertidumbre en el factor de emisión se encuentra influido por la precisión de las mediciones subyacentes y el nivel en que estos resultados representan la conducta típica de la población de fuentes objetivo. Por lo tanto, los factores de emisión basados en datos recogidos en un país pueden tener un conjunto de incertidumbres asociadas cuando se utilizan en ese país y otro conjunto de incertidumbres cuando se aplican en otro país.

Debido a que es difícil establecer un conjunto de incertidumbres universal, se han suministrado una serie de valores por defecto para los factores de emisión. Estas incertidumbres son evaluadas con base en la opinión de expertos y reflejan el nivel de incertidumbre esperado al utilizar los factores de emisión correspondientes para estimar las emisiones a nivel nacional.

## **2.4 Procedimiento de obtención de emisiones**

El proceso de obtención de emisiones es un paso crítico en la determinación de la cantidad de emisiones producidas por una fuente determinada para esto se siguen los siguientes pasos.

### **2.4.1 Paso 1: Recolección de información**

Obtener los datos de nivel de actividad, referente al consumo diario de combustible en la estación de producción tipo durante un periodo de estudio específico (1 mes). Registrar el detalle de consumo y en qué unidades fue reportado (pies cúbicos, galones y barriles).

### **2.4.2 Paso 2: Cálculo de masa de combustible consumida**

Para obtener la masa de combustible consumida a partir de la data, se hace uso de la ecuación de densidad, la cual relaciona la masa de una sustancia con el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V \quad (2.1)$$

Donde:

$\rho$ : densidad

$m$ : masa

$V$ : volumen

Puesto que la data de consumo presenta distintas unidades de volumen, por practicidad y conveniencia de los cálculos a realizarse se deben trasladar los valores a una unidad común, el metro cúbico.

Luego se utilizará los valores de densidad correspondientes al tipo de combustible utilizado. Posteriormente, mediante un sencillo producto entre el volumen de combustible utilizado y la densidad respectiva se obtendrá la masa consumida.

### **2.4.3 Paso 3: Obtener valor de conversión**

La obtención del valor de conversión requiere una evaluación cuidadosa de la información sobre el tipo de combustible utilizado y su calidad. Esto se realiza mediante el uso de factores de conversión estándar, que permiten la traducción de las unidades físicas en unidades de energía. Estos factores son específicos para cada tipo de combustible y se basan en el valor calórico neto (VCN) del combustible, lo que significa la cantidad de energía disponible por unidad de masa. La obtención precisa del valor de conversión es esencial para el correcto cálculo de la masa de combustible consumido y la cantidad de emisiones resultantes.

#### **2.4.3.1 Valor Calórico Neto (VCN)**

El Valor Calórico Neto (VCN) es un indicador de la energía producida por un combustible durante su quema. Fue propuesto por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) como una forma de comparar la eficiencia energética de diferentes combustibles.

El VCN se refiere a la energía disponible en un combustible tras descontar los costes energéticos asociados con la producción, transporte y transformación de ese combustible. En otras palabras, es la energía útil que se puede extraer de un combustible. Se mide en unidades de energía por unidad de masa o volumen de combustible, como julios por kilogramo o julios por metro cúbico.

(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019)

#### 2.4.4 Paso 4: Conversión a unidades de energía

Una vez obtenidos los valores masicos del combustible y el Valor Calórico Neto (VCN), se procede a realizar un simple producto para obtener el consumo energético en Terajulios [TJ].

$$\text{Consumo energético} = \text{masa de combustible consumido} \times \text{VCN} \quad (2.2)$$

#### 2.4.5 Paso 5: Elección del factor de emisión

El IPCC establece valores predeterminados para la emisión de los gases más comunes en la producción, como el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ) y el metano ( $CH_4$ ). Por lo que se hará uso de ellos.

#### 2.4.6 Paso 6: Cálculo de emisiones de GEI

Finalmente, se puede calcular la cantidad de gases de efecto invernadero producidos utilizando el consumo de combustible en unidades de energía y el factor de emisión asociado al tipo de combustible utilizado en la operación.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_{GEI} = \text{Consumo de combustible} \times F.E. \quad (2.3)$$

Donde:

$$\text{Emisiones}_{GEI} = \frac{\text{Emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible [Kg GEI]}}{\text{Consumo de combustible [TJ]}}$$

$$\text{Consumo de combustible} = \text{Cantidad de combustible quemado [TJ]}$$

$$F.E. = \frac{\text{Factor de emision por defecto de un gas dado por tipo de combustible (kg gas/TJ)}}{\text{Consumo de combustible [TJ]}}$$

Para calcular el total de emisiones por gas de la categoría de fuente, se suman las emisiones calculadas en la Ecuación 2.1 para todos los combustibles:

$$\text{Emisiones}_{GEI} = \sum_{\text{combustibles}} \text{Emisiones}_{GEI, \text{combustible}} \quad (2.3)$$

## **2.4.7 Paso 7: Cálculo de masa de dióxido de carbono equivalente**

Para determinar el impacto ambiental de una actividad, es necesario utilizar un factor de conversión que estime la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que se liberan en la atmósfera durante un periodo de tiempo específico. Este factor de conversión es conocido como el Potencial de Calentamiento Global (PCG) y es desarrollado por organizaciones internacionales como el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Para calcular el equivalente de  $CO_2$ , se multiplicará la masa de cada GEI liberado por su respectivo PCG. De esta manera, se obtendrá una estimación de la huella de carbono generada por la actividad en cuestión.

### **2.4.7.1 Potencial de Calentamiento Global (PCG)**

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) es una medida de la capacidad de los gases de efecto invernadero (GEI) para absorber calor y aumentar la temperatura media de la Tierra. El PCG es un valor numérico asignado a cada gas que se basa en su capacidad para retener el calor en la atmósfera, su duración en la atmósfera y otros factores. Según el IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), se opta por utilizar el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) porque, aunque posee un PCG mucho menor que otros gases como el metano o el óxido nitroso, es el que ha registrado mayores emisiones a la atmósfera y supera en porcentaje a todos ellos. Por lo tanto, el PCG se utiliza para estimar el impacto ambiental de las emisiones de GEI y para evaluar la eficacia de las políticas y tecnologías de mitigación del cambio climático.

(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007)

## **2.5 Casos de aplicación de la metodología a situaciones similares**

### **2.5.1 Compañía petrolera ABC Ecuador**

En su inventario de gases de efecto invernadero (GEI), ABC Ecuador empleó un método simplificado para calcular los índices de intensidad energética y de carbono de la producción de la compañía. La presentación de los resultados se efectuó en términos de  $CO_2$  equivalente ( $CO_2$  eq.), que incluye gases como  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$ , los cuales fueron convertidos a  $CO_2$  eq. mediante el uso de factores de potencial de calentamiento global. Para la cuantificación de las emisiones de  $CO_2$  eq., se empleó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida de Proyectos (CAPP) y se validaron los resultados a través de la

metodología IPCC. Cabe destacar que ambas metodologías se concentran en sectores específicos, lo que puede afectar la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, la metodología CAPP se centra en el sector energético y petrolero, mientras que la metodología IPCC está diseñada para la elaboración de inventarios nacionales. Debido a las diferencias en las fuentes de los factores de emisión de los GEI, existe una divergencia en la estimación de las emisiones de  $CO_2$  y otros gases como  $CH_4$  y  $N_2O$ . (Meza, 2006)

### **2.5.2 Grupo Repsol YPF**

Repsol YPF Group empezó verificando su inventario de gases de efecto invernadero en 2007 y expandió la verificación a todas sus instalaciones industriales en España, Portugal, Argentina y Perú entre 2008 y 2010. A partir de 2011, comenzó a verificar también sus instalaciones de "Upstream", dividiendo el inventario en varios informes. Este proceso fue implementado para asegurar la consistencia, transparencia y credibilidad en la cuantificación, seguimiento y reporte de gases de efecto invernadero, mejorar la identificación y gestión de riesgos y oportunidades relacionadas con estos gases, y estandarizar su metodología para reducir emisiones. El informe fue elaborado por la Dirección de Huella Ambiental y Unidad de Carbono de Repsol YPF y verificado por LRQA Business Assurance.

El Bloque 16 está en operación de Repsol YPF en la Provincia de Orellana, en el Parque Nacional Yasuní y la Reserva Étnica Waorani. Tiene dos facilidades de producción, la South Production Facilities, SPF y la North Production Facilities, NPF, que procesan y separan el gas y el agua del crudo. El gas se utiliza para generar electricidad y el remanente se quema en teas, mientras que el agua se trata y se inyecta en pozos reinyectores. El Bloque 16 cuenta con otras instalaciones como la Estación de Bombeo Shushufindi y el Ramal de Entrega de Petróleo a Lago Agrio. Las emisiones serán estimadas en los procesos descritos a continuación.

La NPF es una planta de procesamiento de crudo que produce diariamente 1.700 bbl/d de diésel a partir de 8.500 bbl/d de crudo de 16,5 °API. El gas producido se utiliza para el consumo propio de la planta y el remanente se envía a un sistema de generación. La NPF cuenta con dos tanques de almacenamiento de diésel y utiliza un horno horizontal y dos calderos para procesar el crudo. La producción de diésel se utiliza principalmente para impulsar el crudo desde pozos, el bombeo por oleoducto y la

inyección de agua. La NPF cuenta con tres plantas de generación: una con seis motores a gas, otra con dos turbinas y una de emergencia con un motor a gas. La NPF también cuenta con una tea donde se quema el gas remanente de los equipos de la facilidad.

La SPF es una planta de procesamiento de crudo que trata el crudo con alto contenido de agua. La producción eléctrica se utiliza principalmente para impulsar el crudo de pozos y la inyección de agua. Tiene cuatro plantas de generación con motores a gas, crudo, turbina dual y una de emergencia con motores a diésel. También cuenta con una tea donde se quema el gas restante. La estación Shushufindi recibe crudo de varias áreas y lo envía a otras estaciones. Tiene dos plantas de generación con turbinas y grupos electrógenos de emergencia, y una estación de bombeo Pompeya Norte. También hay una zona de almacenamiento de material y un puerto.

Repsol realiza un seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en sus operaciones en Bloque 16 y Tivacuno en Ecuador. Estas emisiones incluyen tantas emisiones directas, que provienen de fuentes controladas por Repsol, y emisiones indirectas de fuentes controladas por otras organizaciones. Repsol no incluye emisiones consideradas como insignificantes o no verificables en su inventario. En 2011, las emisiones directas de Repsol en sus operaciones en el Bloque 16 y la Área de Tivacuno fueron las siguientes:

**Tabla 2.1 Emisiones directas de Repsol en sus operaciones en el Bloque 16 y el Área de Tivacuno [(Repsol, 2011)]**

Localización	Fuente	Emisiones Equivalentes <i>Ton de CO<sub>2</sub> eq.</i>	Total Emisiones <i>Ton de CO<sub>2</sub> eq.</i>
Bloque 16	Emisiones de combustión de crudo	238,704	674,516
	Emisiones de combustión de gas de proceso	178,709	
	Emisiones de combustión de diésel	238,096	
Tivacuno	Emisiones de combustión de gas de proceso	19,007	

Las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> en el Bloque 16 y Área de Tivacuno debidas exclusivamente a la compra de electricidad se originaron en dos instalaciones, Pompeya Norte y Pozo27, y sumaron un total de 20,44 toneladas de CO<sub>2</sub>.

(Repsol, 2011)

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero, se tomó como referencia la estación de producción FICT ubicada en el campo ESPOL, en la cual se realizan los procesos de producción de pozos petroleros y que cuenta con una data histórica diaria de consumo de combustibles fósiles para llevar a cabo dichos procesos durante un mes.

### 3.1 Resultados

Se aplicó el método sectorial - Nivel 1 establecido por las directrices del IPCC del 2006, para realizar los cálculos pertinentes respecto a la estación de producción ejemplo propuesta.

#### 3.1.1 Cálculo de emisiones

Inicialmente, se recolectaron los datos de “Nivel de actividad” referentes al consumo de combustible. Luego, se establecieron los valores por defecto para factor de emisión de un GEI dado por el tipo de combustible quemado.

Considerándose como los principales gases de efecto de invernadero emitidos durante la combustión en las operaciones de la estación: al dióxido de carbono  $CO_2$ , el metano  $CH_4$  y el óxido nitroso  $N_2O$ . Así como las fuentes de energía manejadas en la estación se limitaron al gas natural, el diésel y el petróleo crudo.

A continuación, se muestran los valores de F.E. que fueron empleados para este estudio:

**Tabla 3.1 Factores de Emisión por defecto para la Combustión Estacionaria en las Industrias Energéticas [(IPCC, 2006)]**

Factores de emisión [kg de Gas/TJ]			
Combustibles	$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$
Gas natural	56100	1	0,1
Diésel	74100	3	0,6
Petróleo crudo	73300	3	0,6

Cabe señalar que el uso de estos factores de emisión por defecto permite estimar las emisiones de GEI con un nivel aceptable de exactitud.

Generalmente los datos de consumo de combustible son descritos en unidades físicas (de volumen o masa) y dado que los factores de emisión están expresados en unidades de energía (Terajulios), es necesario realizar una conversión mediante un factor que relacione dichas unidades. Para convertir estos datos en unidades energéticas, se requirió hacer uso de los valores calóricos netos (VCN) relativos a cada combustible. (National Greenhouse Gas Inventories Programme et al., 2006)

A continuación, se muestran los VCN empleados para este estudio:

**Tabla 3.2 Valores calóricos netos (VCN) por defecto [(IPCC, 2006)]**

Valores calóricos netos por defecto [TJ/Gg]		
Gas natural	Diésel	Petróleo crudo
48,0	43,0	42,3

Finalmente, con los valores de consumo de combustible en unidades de energía y el factor de emisión de GEI asociado al tipo de combustible utilizado durante las operaciones, fue posible calcular la masa de cada gas de efecto invernadero generada diariamente por la estación durante el mes de estudio.

A continuación, se muestran las emisiones diarias de GEI para cada tipo de combustible empleado.

**Para Gas natural**

**Tabla 3.3 Histórico de emisiones diarias de GEI debido al consumo de Gas natural en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

Fecha	Consumo de Gas natural [kg/día]	Emisiones para Gas natural [kg Gas/día]		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2-dic-22	194,681	524,236	0,009344669	0,000934467
3-dic-22	193,820	521,918	0,009303360	0,000930336
4-dic-22	199,550	537,348	0,009578395	0,000957839
5-dic-22	195,088	525,334	0,009364237	0,000936424
6-dic-22	191,782	516,430	0,009205521	0,000920552
8-dic-22	128,685	346,523	0,006176874	0,000617687
9-dic-22	127,688	343,839	0,006129042	0,000612904
10-dic-22	122,434	329,690	0,005876836	0,000587684
12-dic-22	92,924	250,226	0,004460351	0,000446035
13-dic-22	110,227	296,819	0,005290892	0,000529089
14-dic-22	188,181	506,733	0,009032673	0,000903267
15-dic-22	119,784	322,555	0,005749646	0,000574965
16-dic-22	194,205	522,955	0,009321840	0,000932184
17-dic-22	183,515	494,170	0,008808731	0,000880873
18-dic-22	183,493	494,109	0,008807644	0,000880764
19-dic-22	207,658	559,181	0,009967575	0,000996757
20-dic-22	198,938	535,701	0,009549043	0,000954904
21-dic-22	214,792	578,392	0,010310010	0,001031001
22-dic-22	219,118	590,040	0,010517645	0,001051764
23-dic-22	15,446	41,592	0,000741399	0,000074140
24-dic-22	188,452	507,465	0,009045718	0,000904572
25-dic-22	223,126	600,834	0,010710061	0,001071006
26-dic-22	204,215	549,911	0,009802336	0,000980234
27-dic-22	202,381	544,971	0,009714282	0,000971428
28-dic-22	19,432	52,326	0,000932728	0,000093273
29-dic-22	21,198	57,083	0,001017521	0,000101752
30-dic-22	98,790	266,021	0,004741909	0,000474191
31-dic-22	117,202	315,603	0,005625717	0,000562572

Se presentan las siguientes gráficas:

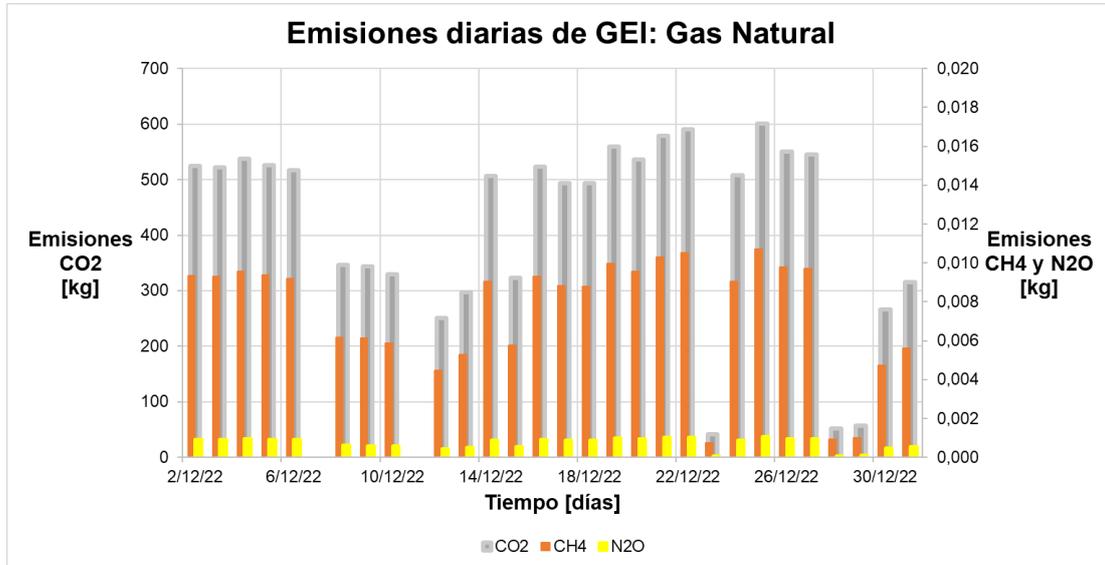


Figura 3.1 Emisiones de GEI vs Tiempo debido al Gas natural [Elaboración propia]

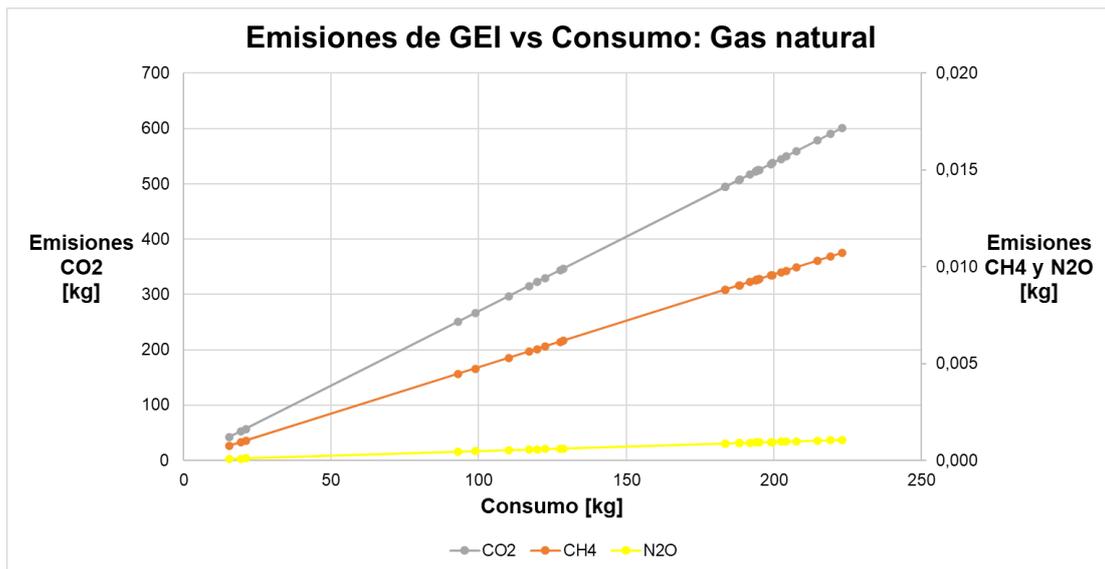


Figura 3.2 Emisiones de GEI vs consumo de Gas natural [Elaboración propia]

Para las dos gráficas, se estableció un doble eje vertical que permita observar tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> (izq. - gris) así como las emisiones para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (dcha. - naranja y amarillo respectivamente) ya que estos últimos poseen un orden de magnitud mucho menor por comparación.

**Para Diésel**

**Tabla 3.4 Histórico de emisiones diarias de GEI debido al consumo de Diésel en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

Fecha	Consumo de Diésel [kg/día]	Emisiones para Diésel [kg Gas/día]		
		<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>CH<sub>4</sub></i>	<i>N<sub>2</sub>O</i>
2-dic-22	1.387.879,866	4.422.201,618	179,037	35,807
3-dic-22	1.405.135,858	4.477.184,386	181,263	36,253
4-dic-22	1.392.899,323	4.438.195,113	179,684	35,937
5-dic-22	1.381.676,332	4.402.435,297	178,236	35,647
6-dic-22	1.385.630,763	4.415.035,301	178,746	35,749
8-dic-22	1.388.883,758	4.425.400,317	179,166	35,833
9-dic-22	1.384.028,398	4.409.929,685	178,540	35,708
10-dic-22	1.409.257,605	4.490.317,506	181,794	36,359
12-dic-22	1.230.497,365	3.920.733,755	158,734	31,747
13-dic-22	1.373.954,091	4.377.829,919	177,240	35,448
14-dic-22	1.323.389,496	4.216.715,952	170,717	34,143
15-dic-22	1.206.709,644	3.844.938,938	155,666	31,133
16-dic-22	1.401.397,006	4.465.271,282	180,780	36,156
17-dic-22	1.354.410,384	4.315.557,807	174,719	34,944
18-dic-22	1.380.141,537	4.397.544,978	178,038	35,608
19-dic-22	1.379.954,916	4.396.950,348	178,014	35,603
20-dic-22	1.363.632,028	4.344.940,730	175,909	35,182
21-dic-22	1.331.452,803	4.242.408,068	171,757	34,351
22-dic-22	1.323.917,183	4.218.397,319	170,785	34,157
23-dic-22	1.359.079,123	4.330.433,809	175,321	35,064
24-dic-22	1.344.207,372	4.283.047,951	173,403	34,681
25-dic-22	1.334.229,593	4.251.255,752	172,116	34,423
26-dic-22	1.319.570,204	4.204.546,542	170,225	34,045
27-dic-22	1.230.497,365	3.920.733,755	158,734	31,747
28-dic-22	1.341.443,454	4.274.241,276	173,046	34,609
29-dic-22	1.309.859,485	4.173.605,279	168,972	33,794
30-dic-22	1.409.064,549	4.489.702,372	181,769	36,354
31-dic-22	1.384.028,398	4.409.929,685	178,540	35,708

Se presentan las siguientes gráficas:

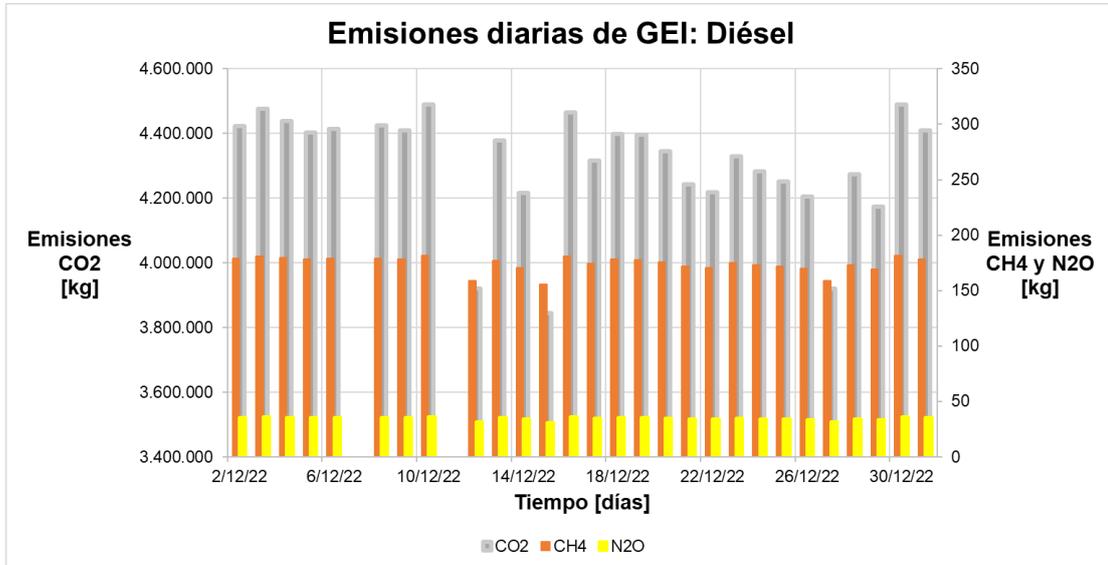


Figura 3.3 Emisiones de GEI vs Tiempo debido al Diésel [Elaboración propia]

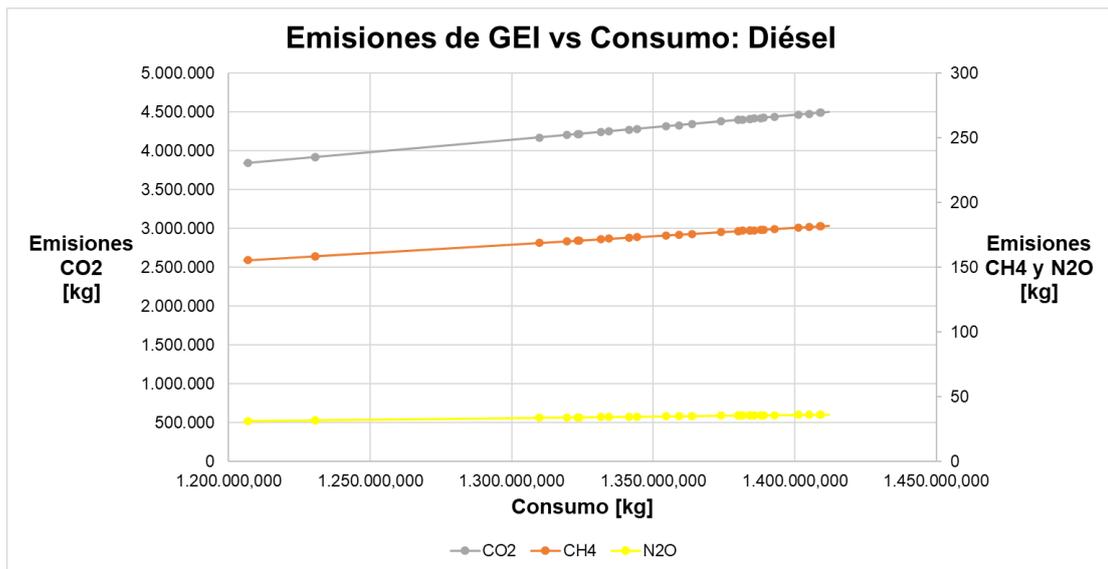


Figura 3.4 Emisiones de GEI vs consumo de Diésel [Elaboración propia]

Para las dos gráficas, se estableció un doble eje vertical que permita observar tanto las emisiones de  $CO_2$  (izq. - gris) así como las emisiones para  $CH_4$  y  $N_2O$  (dcha. - naranja y amarillo respectivamente) ya que estos últimos poseen un orden de magnitud mucho menor por comparación.

**Para Petróleo crudo**

**Tabla 3.5 Histórico de emisiones diarias de GEI debido al consumo de Petróleo crudo en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

Fecha	Consumo de crudo [kg/día]	Emisiones para crudo [kg Gas/día]		
		<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>CH<sub>4</sub></i>	<i>N<sub>2</sub>O</i>
2-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
3-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
4-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
5-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
6-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
8-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
9-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
10-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
12-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
13-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
14-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
15-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
16-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
17-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
18-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
19-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
20-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
21-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
22-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
23-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
24-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
25-dic-22	8.979,200	27.840,818	1,139460480	0,227892096
26-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
27-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
28-dic-22	8.979,200	27.840,818	1,139460480	0,227892096
29-dic-22	9.126,400	28.297,225	1,158140160	0,231628032
30-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760
31-dic-22	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760

Se presentan las siguientes gráficas:

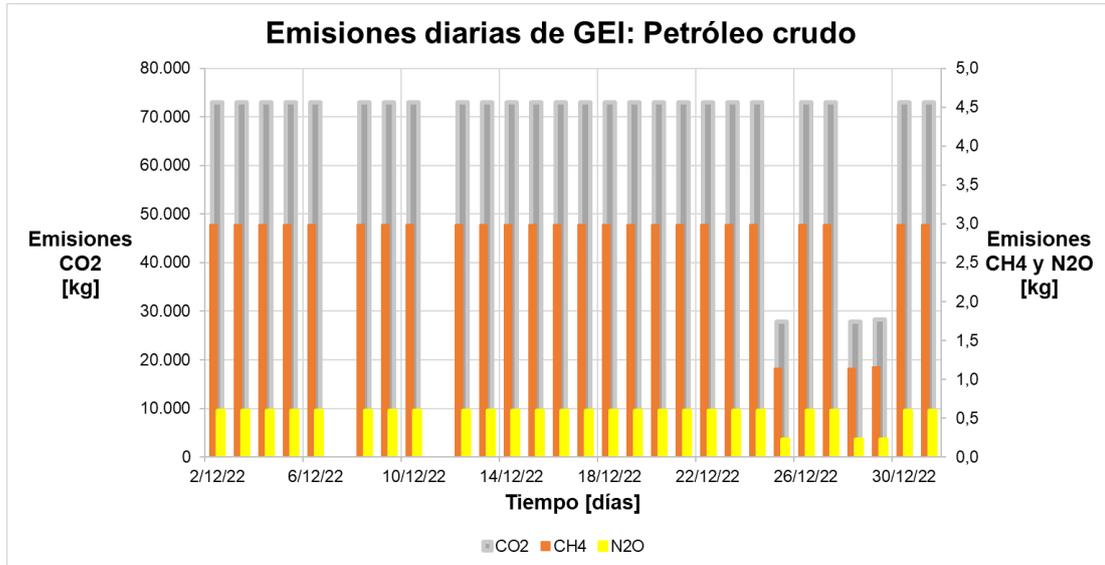


Figura 3.5 Emisiones de GEI vs Tiempo debido al Petróleo crudo [Elaboración propia]

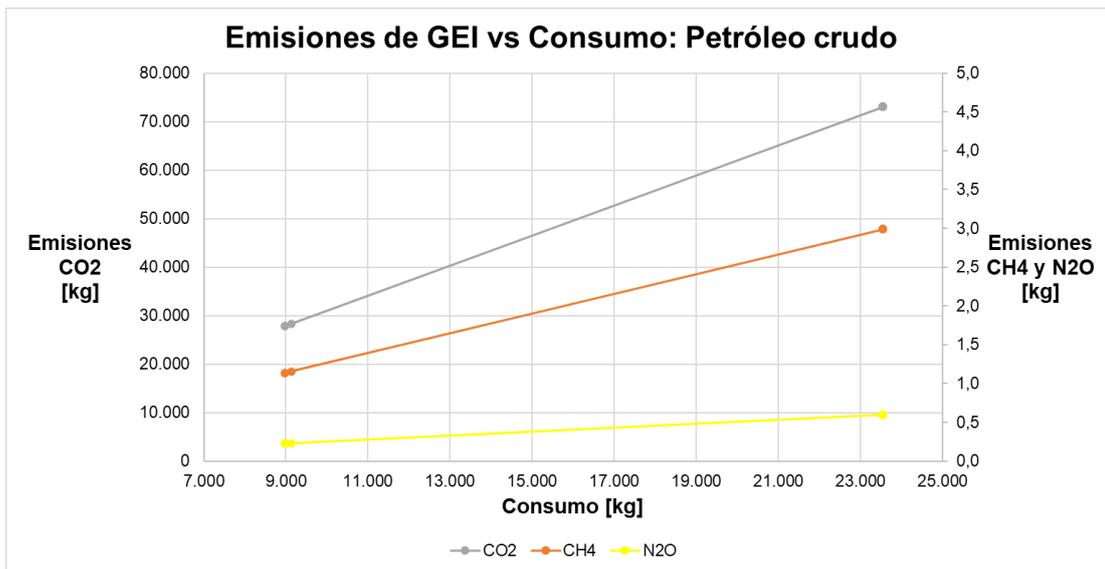


Figura 3.6 Emisiones de GEI vs consumo de Petróleo crudo [Elaboración propia]

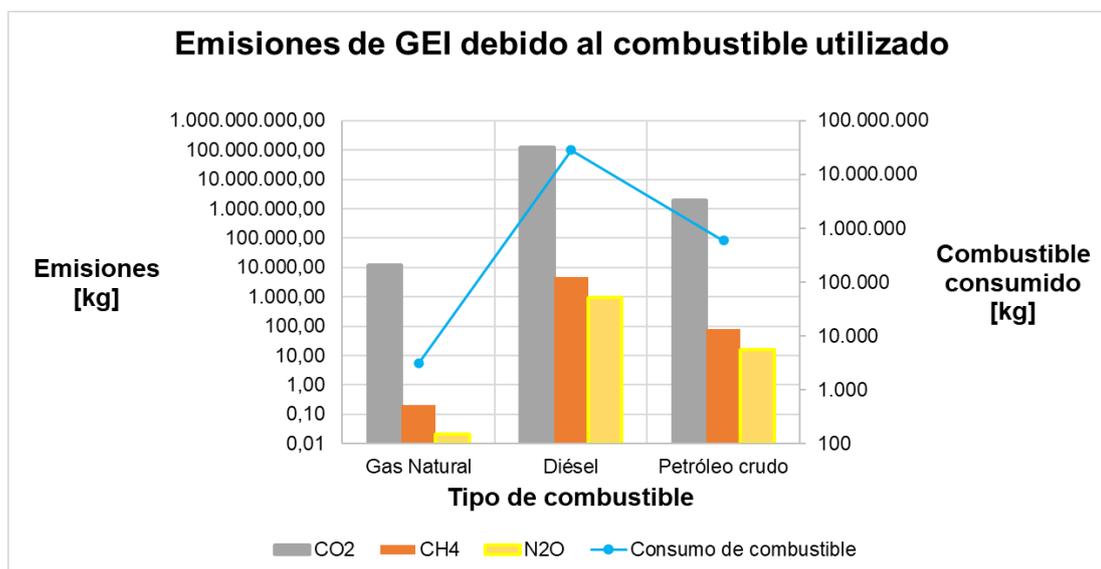
Para las dos gráficas, se estableció un doble eje vertical que permita observar tanto las emisiones de  $CO_2$  (izq. - gris) así como las emisiones para  $CH_4$  y  $N_2O$  (dcha. - naranja y amarillo respectivamente) ya que estos últimos poseen un orden de magnitud mucho menor por comparación.

A continuación, se presentan los valores totales en masa [kg] de emisiones de GEI debido a cada combustible utilizado durante el mes de estudio.

**Tabla 3.6 Emisiones de GEI debido al consumo de combustibles fósiles en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

Combustible	Consumo de combustible [kg/mes]	Emisiones por cada gas [kg Gas/ mes]		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gas natural	3.111,85	11.732,01	0,21	0,02
Diésel	28.494.090,02	120.559.484,74	4.880,95	976,19
Petróleo crudo	592.332,80	1.909.606,25	78,16	15,63

Se presenta la siguiente gráfica:



**Figura 3.7 Emisiones de GEI debido al consumo de combustible fósil [Elaboración propia]**

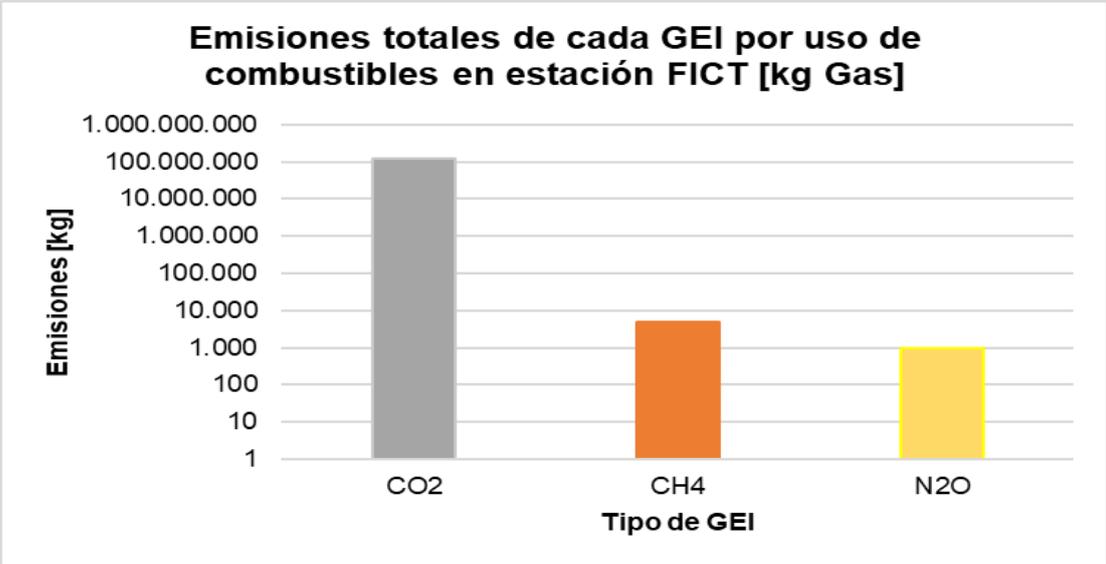
Para la gráfica, se estableció un doble eje vertical en escala logarítmica que permita observar las emisiones de cada GEI (barras gris, naranja y amarillo) así como el consumo total para cada tipo combustible (curva azul) durante el mes de estudio.

A continuación, se presentan los valores totales de emisiones liberadas por la estación de producción estudiada.

**Tabla 3.7 Emisiones totales de cada GEI emitido por la Estación de Producción FICT debido al consumo de combustibles [Elaboración propia]**

GEI	Emisiones totales de cada GEI [kg Gas]
<i>CO<sub>2</sub></i>	122.480.823,00
<i>CH<sub>4</sub></i>	4.959,32
<i>N<sub>2</sub>O</i>	991,84

Se presenta la siguiente gráfica:



**Figura 3.8 Emisiones de GEI debido al consumo de combustible fósil [Elaboración propia]**

### 3.1.2 Cálculo de masa de dióxido de carbono equivalente

Para calcular la huella de carbono por esta actividad, se requirió emplear un coeficiente que estime el impacto ambiental que tendrá cada masa de gas al ser liberada hacia la atmósfera para un periodo de tiempo específico.

El factor de conversión aplicado fue el potencial de calentamiento global (PCG) para los GEI estudiados, cuyos efectos se extienden para un horizonte de 100 años.

Los valores de PCG más recientes propuestos por el IPCC, se muestran a continuación:

**Tabla 3.8 Valores de potencial de calentamiento global (PCG) respecto a GEI liberados en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

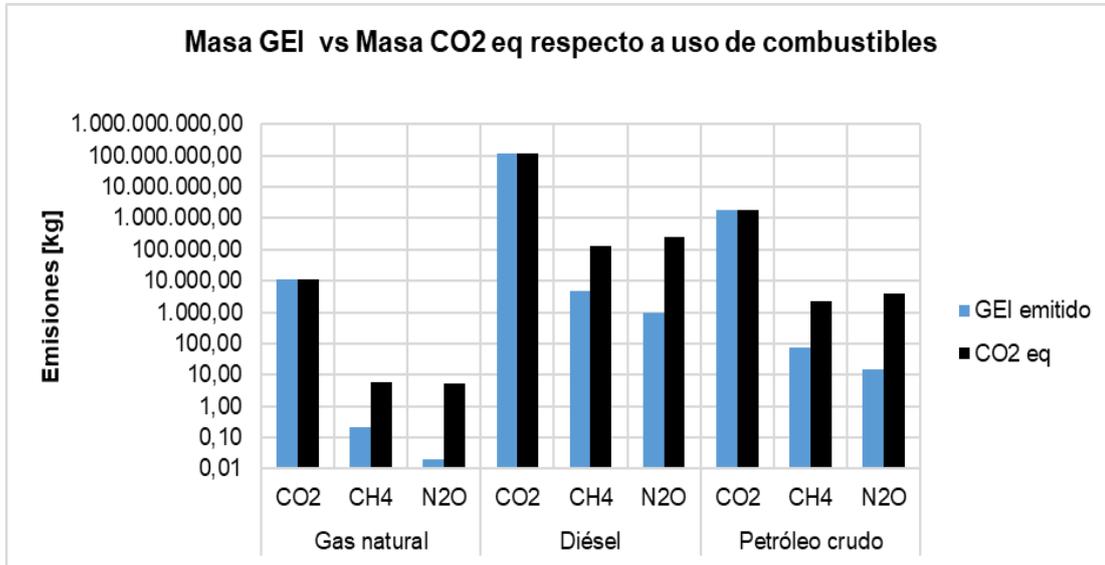
GEI	PCG
Dióxido de carbono ( $CO_2$ )	1
Metano ( $CH_4$ )	28
Óxido nitroso ( $N_2O$ )	265

Posteriormente, se realizó un producto entre la masa de GEI debida a cada combustible y su PCG correspondiente para obtener la masa de  $CO_2$  equivalente.

**Tabla 3.9 Masa de  $CO_2$  eq. respecto a Masa de GEI emitida por consumo de combustibles en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

Combustible	GEI	GEI emitido [kg]	$CO_2$ eq. [kg]
Gas natural	$CO_2$	11.732,01	11.732,01
	$CH_4$	0,21	5,86
	$N_2O$	0,02	5,54
Diésel	$CO_2$	120.559.484,74	120.559.484,74
	$CH_4$	4.880,95	136.666,62
	$N_2O$	976,19	258.690,39
Petróleo crudo	$CO_2$	1.909.606,25	1.909.606,25
	$CH_4$	78,16	2.188,36
	$N_2O$	15,63	4.142,26

Se presenta la siguiente gráfica:



**Figura 3.9 Masa de GEI vs Masa de  $CO_2$  eq. respecto al uso de combustibles [Elaboración propia]**

Se presentan los porcentajes de  $CO_2$  equivalente generado por cada tipo de combustible utilizado.

**Tabla 3.10  $CO_2$  eq. TOTAL, respecto a cada combustible consumido en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]**

Combustible	kg de $CO_2$ eq.	Porcentaje de $CO_2$ eq. respecto a TOTAL
Gas Natural	11.743,40	0,01%
Diésel	120.954.841,75	98,43%
Petróleo crudo	1.915.936,87	1,56%
<b>TOTAL</b>	<b>122.882.522,03</b>	<b>100%</b>

Se presenta la siguiente gráfica:

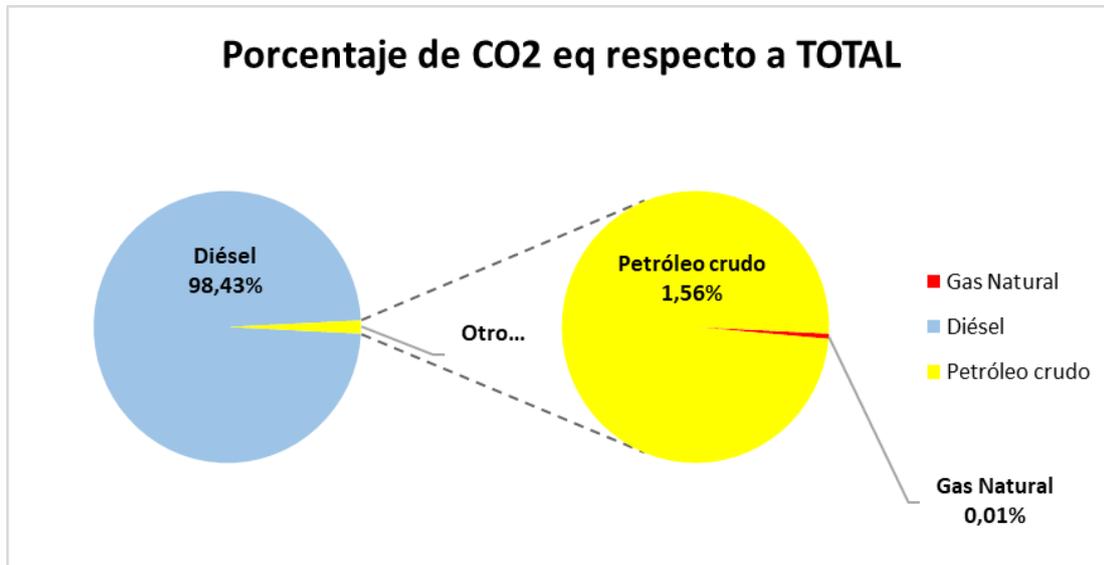


Figura 3.10 Porcentaje de CO<sub>2</sub> eq. TOTAL, respecto a cada combustible consumido en Estación de Producción FICT [Elaboración propia]

### 3.2 Análisis de resultados

Debido al consumo de combustibles fósiles en la Estación de producción FICT, se realizaron las siguientes observaciones y análisis.

De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que para todo combustible consumido:

- El gas con mayor incidencia contaminante producido en la estación fue el CO<sub>2</sub>. La contribución de GEI por parte del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O puede considerarse poco significativa por comparación.
- Las emisiones de GEI en el tiempo tuvieron un comportamiento similar pese a la diferencia entre sus magnitudes, puesto que se trata de la misma masa de combustible analizada.
- Las emisiones de GEI respecto al consumo de combustible revelaron que, a pesar de la diferencia significativa entre valores de emisión, para cada uno de los gases estudiados existe una relación lineal entre las emisiones generadas respecto al combustible quemado. A mayor consumo, mayor cantidad de emisiones.

- El consumo de combustibles durante el mes de estudio se mantuvo relativamente constante, sin presentar fluctuaciones importantes. Esto se puede interpretar como que las operaciones llevadas a cabo por la estación no presentaron ninguna complicación o modificación relevante para los insumos, equipos o funciones durante el tiempo de estudio de los GEI.

Para el caso del consumo específico de combustibles, se observó que:

#### **Diésel:**

- Fue el combustible de mayor consumo en la estación (28.494.090,02 kg).
- Generó emisiones de GEI con órdenes de magnitud mucho mayores a los demás combustibles estudiados.
- El gas con mayor incidencia contaminante producido en la estación debido al consumo de diésel fue el  $CO_2$ , con emisiones de 120.559.484,74 kg. La contribución de GEI por parte del  $CH_4$  y  $N_2O$  puede considerarse poco significativa por comparación.
- Su contribución en kg  $CO_2$  eq. fue del 98,43%, lo que indica que su impacto ambiental en un periodo de 100 años será mayor por comparación al que puedan generar los otros dos combustibles.

#### **Petróleo crudo:**

- Fue el segundo combustible de mayor consumo en la estación.
- El gas con mayor incidencia contaminante producido en la estación debido al consumo de petróleo crudo fue el  $CO_2$ , con emisiones de 1.909.606,25 kg. La contribución de GEI por parte del  $CH_4$  y  $N_2O$  puede considerarse poco significativa por comparación.
- Durante el periodo de estudio se mantuvo casi constante el consumo del combustible.
- Su contribución en kg  $CO_2$  eq. fue del 1,56%, lo que indica que su impacto ambiental en un periodo de 100 años no puede compararse al daño generado por el uso de diésel, pero aún será mucho más perjudicial que el correspondiente al consumo de gas natural.

**Gas natural:**

- Fue el combustible de menor consumo en la estación.
- El gas con mayor incidencia contaminante producido en la estación debido al consumo de petróleo crudo fue el  $CO_2$ , con emisiones de 11.732,01 kg. La contribución de GEI por parte del  $CH_4$  y  $N_2O$  puede considerarse poco significativa por comparación.
- Su contribución en kg  $CO_2$  eq. fue del 0,01%, lo que indica que su impacto ambiental en un periodo de 100 años tiene una incidencia insignificante por comparación al consumo de otros combustibles.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se logró cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que se generan durante un mes de operaciones en la estación de producción FICT por la combustión de crudo, diésel y gas natural. Lo que permitió desarrollar un inventario donde se pueden observar las emisiones diarias de los principales gases de efecto invernadero ( $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$ ) procedentes de la combustión en los procesos de producción de hidrocarburos, obteniendo el aporte de cada combustible quemado en kg de  $CO_2$  equivalente para un PCG de 100 años. Donde el diésel representa un 98,43%, el crudo un 1,56% y el gas natural un 0,01%. **Ver Apéndice A.**
- Se determinó que el  $CO_2$  fue el gas que mayormente se emitió dentro de los procesos de producción petrolera analizados, ya que para el diésel fue de 120.559.484,74 kg de  $CO_2$ , para el crudo fue de 1.909.606,25 kg de  $CO_2$  y para el gas natural fue de 11.732,01 kg de  $CO_2$ , valores que distan notablemente de las emisiones referentes al  $CH_4$  y  $N_2O$ .
- En este estudio, se determinó que el combustible que genera mayor aporte de emisiones tanto para  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$  en una estación de producción, es el diésel o gasóleo. Esto es debido a: la considerable cantidad de combustible requerido para las operaciones, así como el hecho de que motores a diésel son propensos a liberar grandes cantidades de micropartículas a la atmósfera.
- Los procesos industriales llevados a cabo en una estación de producción contribuyen activamente a la emisión de considerables cantidades de GEI hacia la atmósfera lo que deriva en un impacto hacia el medio ambiente y atenta contra el equilibrio ecológico.
- Considerando la necesidad energética del mundo y que por ahora no es posible independizarse de las energías no renovables, la industria del petróleo tiene la responsabilidad de dedicar tiempo y recursos en investigación y análisis de emisiones de GEI que se emiten durante sus operaciones.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar análisis similares o de mayor grado de exhaustividad sobre emisiones de GEI a cada estación de producción con el objetivo de identificar las fuentes que mayor contaminación generan y proponer medidas de mitigación directas y eficaces.
- Si bien los factores de emisión por defecto para GEI proporcionados por el IPCC son de exactitud aceptable, se recomienda usar factores de emisión más desagregados, específicos de la tecnología y del país, que haya disponibles con el fin de reducir la incertidumbre en los resultados del inventario.
- Para lograr un proyecto de facilidades orientado a resultados sostenibles, es necesario desarrollar una línea base y plantear objetivos de reducción de GEI a fin de mejorar la identificación, gestión de los riesgos y oportunidades relacionados con los GEI.
- Considerando que el combustible que genera mayores emisiones de  $CO_2$  es el diésel, se recomienda disminuir el número de equipos que dependen de esta clase de fuente energética y buscar alternativas que produzcan un impacto ambiental menor.

# BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, B. J., & Ocapana, N. L. (2015). *OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL GAS ASOCIADO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN EL CAMPO SINGUE-BLOQUE 53 OPERADO POR LA COMPAÑÍA GENTE OIL ECUADOR PTE. LTD. AÑO 2015* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5196/1/T-UCE-0012-318.pdf>
- Andrade-Castañeda, H. J., Arteaga-Céspedes, C. C., & Segura-Madrigal, M. A. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 103–112. [https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL18\\_NUM1\\_ART:561](https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL18_NUM1_ART:561)
- APUNTES SOBRE LA EXPLOTACION PETROLERA EN EL ECUADOR*. (n.d.). Retrieved February 10, 2023, from [https://www.inredh.org/archivos/pdf/boletin\\_petroleo\\_apuntes.pdf](https://www.inredh.org/archivos/pdf/boletin_petroleo_apuntes.pdf)
- Arnold, K., & Stewart, M. (2008). *Surface production operations* (3rd ed., Vol. 1).
- Baethgen, W. E., & Martino, D. L. (n.d.). *Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay*. Retrieved February 10, 2023, from <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/pol/2002/informe-7.pdf>
- Benavides, H., & León, G. (2007). *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Capitulo 1 Fundamentos de los Sistemas Artificiales de Producción*. (n.d.). Retrieved February 10, 2023, from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/3605/4/A4.pdf>
- GRUPO CONSULTIVO DE EXPERTOS (GCE). (n.d.). *MANUAL DEL SECTOR DE LA ENERGÍA: Quema de Combustibles*. Retrieved February 10, 2023, from <https://unfccc.int/sites/default/files/7-bis-handbook-on-energy-sector-fuel-combustion.pdf>

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [Special Report]*.
- IPCC – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2019). IPCC. <https://www.ambiente.gob.ec/ipcc/>
- Manthra Comunicación integral y Producción editorial. (2013). *El petróleo en el Ecuador: La nueva era petrolera*. <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/El-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf>
- Martínez-Prado, M. A. (2016). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 575–601. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62046829023.pdf>
- Matallo, H. (2012). QUE ES LO QUE NECESITA SABER SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO: causas naturales y antropogénicas e sus impactos en la agricultura. *Ciencia Trópico*, 36(2), 225. [https://www.researchgate.net/profile/Gerson-Herrera-Pupo/publication/273970556\\_El\\_papel\\_de\\_la\\_Industria\\_azucarera\\_en\\_la\\_estructuracion\\_territorial\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_Camaguey/links/551ab0330cf2bb754076ca9f/El-papel-de-la-Industria-azucarera-en-la-estructuracion-territorial-de-la-provincia-de-Camaguey.pdf#page=32](https://www.researchgate.net/profile/Gerson-Herrera-Pupo/publication/273970556_El_papel_de_la_Industria_azucarera_en_la_estructuracion_territorial_de_la_provincia_de_Camaguey/links/551ab0330cf2bb754076ca9f/El-papel-de-la-Industria-azucarera-en-la-estructuracion-territorial-de-la-provincia-de-Camaguey.pdf#page=32)
- Meseguer, P., Delgado, J., Hernández, E., Jordán, A., Delgado, E., Martins, S., Nunes, B., Machado, G., Jekabsone, A., & Dille, I. (n.d.). *UNIDAD DIDÁCTICA SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO*. Retrieved February 10, 2023, from <https://lifeadaptate.eu/wp-content/uploads/Unidad-Did%C3%A1ctica-Cambio-Clim%C3%A1tico-BR.pdf>
- Meza, M. (2006). EFICIENCIA ENERGÉTICA E INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA INDUSTRIA PETROLERA-CASO: COMPAÑÍA PETROLERA ABC ECUADOR. *Tecnologías Limpias En Las Industrias Extractivas Minero-Metalúrgica y Petrolera*, 313–326.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2016). *Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/ECUBUR1.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MAE). (n.d.). *ESTUDIO DE POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES Y VULNERABILIDAD RELACIONADA CON LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS Y TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS EN EL SECTOR PRODUCTIVO DEL ECUADOR*. Retrieved February 10, 2023, from <https://www.ambiente.gob.ec/proyecto-saicm/>
- National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., Buendía, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IGES.
- NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTION 0 INTRODUCCIÓN*. (n.d.). Retrieved February 10, 2023, from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/43/LIBRO%20VI%20Anexo%203.pdf>
- Repsol. (2011). *Informe de gases de efecto invernadero :Inventario de Emisiones de CO2 2011*. 14. [https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Bloque\\_16\\_Ecuador\\_tcm13-51990.pdf](https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Bloque_16_Ecuador_tcm13-51990.pdf)
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (2013). *Glosario [Planton, S. (ed.)]*. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)
- Universidad privada Dr. Rafael Beloso Chacín. (n.d.). *CAPÍTULO I EL PROBLEMA* (p. 7). Retrieved February 10, 2023, from <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0095102/cap01.pdf>
- World Energy Council. (2014, June). *Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético*. <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/06/Publicacion-Cambio-Climatico-implicaciones-para-el-sector-energetico-IPCCC-AR5.pdf>

# **APÉNDICES**

# APÉNDICE A

Inventario para Estación de Producción FICT								
Consumo Gas Natural								
Fecha	Consumo de Gas Natural [kg/día]	Emisiones [kg Gas]			Emisiones de CO <sub>2</sub> eq [kg CO <sub>2</sub> eq]			Emisiones totales [kg CO <sub>2</sub> eq]
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
2/12/2022	194,681	524,236	0,009344669	0,000934467	524,236	0,262	0,248	524,745
3/12/2022	193,820	521,918	0,009303360	0,000930336	521,918	0,260	0,247	522,426
4/12/2022	199,550	537,348	0,009578395	0,000957839	537,348	0,268	0,254	537,870
5/12/2022	195,088	525,334	0,009364237	0,000936424	525,334	0,262	0,248	525,844
6/12/2022	191,782	516,430	0,009205521	0,000920552	516,430	0,258	0,244	516,931
8/12/2022	128,685	346,523	0,006176874	0,000617687	346,523	0,173	0,164	346,859
9/12/2022	127,688	343,839	0,006129042	0,000612904	343,839	0,172	0,162	344,173
10/12/2022	122,434	329,690	0,005876836	0,000587684	329,690	0,165	0,156	330,011
12/12/2022	92,924	250,226	0,004460351	0,000446035	250,226	0,125	0,118	250,469
13/12/2022	110,227	296,819	0,005290892	0,000529089	296,819	0,148	0,140	297,107
14/12/2022	188,181	506,733	0,009032673	0,000903267	506,733	0,253	0,239	507,225
15/12/2022	119,784	322,555	0,005749646	0,000574965	322,555	0,161	0,152	322,868
16/12/2022	194,205	522,955	0,009321840	0,000932184	522,955	0,261	0,247	523,463
17/12/2022	183,515	494,170	0,008808731	0,000880873	494,170	0,247	0,233	494,650
18/12/2022	183,493	494,109	0,008807644	0,000880764	494,109	0,247	0,233	494,589

Consumo Gas Natural								
Fecha	Consumo de Gas Natural [kg/día]	Emisiones [kg Gas]			Emisiones de CO <sub>2</sub> eq [kg CO <sub>2</sub> eq]			Emisiones totales [kg CO <sub>2</sub> eq]
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
19/12/2022	207,658	559,181	0,009967575	0,000996757	559,181	0,279	0,264	559,724
20/12/2022	198,938	535,701	0,009549043	0,000954904	535,701	0,267	0,253	536,222
21/12/2022	214,792	578,392	0,010310010	0,001031001	578,392	0,289	0,273	578,953
22/12/2022	219,118	590,040	0,010517645	0,001051764	590,040	0,294	0,279	590,613
23/12/2022	15,446	41,592	0,000741399	0,000074140	41,592	0,021	0,020	41,633
24/12/2022	188,452	507,465	0,009045718	0,000904572	507,465	0,253	0,240	507,958
25/12/2022	223,126	600,834	0,010710061	0,001071006	600,834	0,300	0,284	601,418
26/12/2022	204,215	549,911	0,009802336	0,000980234	549,911	0,274	0,260	550,445
27/12/2022	202,381	544,971	0,009714282	0,000971428	544,971	0,272	0,257	545,501
28/12/2022	19,432	52,326	0,000932728	0,000093273	52,326	0,026	0,025	52,377
29/12/2022	21,198	57,083	0,001017521	0,000101752	57,083	0,028	0,027	57,138
30/12/2022	98,790	266,021	0,004741909	0,000474191	266,021	0,133	0,126	266,280
31/12/2022	117,202	315,603	0,005625717	0,000562572	315,603	0,158	0,149	315,909
<b>TOTAL</b>	4.356,805	11.732,005	0,209	0,021	11.732,005	5,856	5,542	11.743,403

Consumo Diésel								
Fecha	Consumo de Diésel [kg/día]	Emisiones [kg Gas]			Emisiones de CO <sub>2</sub> eq [kg CO <sub>2</sub> eq]			Emisiones totales [kg CO <sub>2</sub> eq]
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
2/12/2022	1.387.879,866	4.422.201,618	179,037	35,807	4.422.201,618	5.013,022	9.488,935	4.436.703,574
3/12/2022	1.405.135,858	4.477.184,386	181,263	36,253	4.477.184,386	5.075,351	9.606,914	4.491.866,650
4/12/2022	1.392.899,323	4.438.195,113	179,684	35,937	4.438.195,113	5.031,152	9.523,253	4.452.749,518
5/12/2022	1.381.676,332	4.402.435,297	178,236	35,647	4.402.435,297	4.990,615	9.446,521	4.416.872,433
6/12/2022	1.385.630,763	4.415.035,301	178,746	35,749	4.415.035,301	5.004,898	9.473,558	4.429.513,757
8/12/2022	1.388.883,758	4.425.400,317	179,166	35,833	4.425.400,317	5.016,648	9.495,798	4.439.912,763
9/12/2022	1.384.028,398	4.409.929,685	178,540	35,708	4.409.929,685	4.999,111	9.462,602	4.424.391,398
10/12/2022	1.409.257,605	4.490.317,506	181,794	36,359	4.490.317,506	5.090,238	9.635,094	4.505.042,839
12/12/2022	1.230.497,365	3.920.733,755	158,734	31,747	3.920.733,755	4.444,556	8.412,910	3.933.591,222
13/12/2022	1.373.954,091	4.377.829,919	177,240	35,448	4.377.829,919	4.962,722	9.393,724	4.392.186,365
14/12/2022	1.323.389,496	4.216.715,952	170,717	34,143	4.216.715,952	4.780,083	9.048,014	4.230.544,049
15/12/2022	1.206.709,644	3.844.938,938	155,666	31,133	3.844.938,938	4.358,635	8.250,274	3.857.547,847
16/12/2022	1.401.397,006	4.465.271,282	180,780	36,156	4.465.271,282	5.061,846	9.581,351	4.479.914,479
17/12/2022	1.354.410,384	4.315.557,807	174,719	34,944	4.315.557,807	4.892,130	9.260,104	4.329.710,041
18/12/2022	1.380.141,537	4.397.544,978	178,038	35,608	4.397.544,978	4.985,071	9.436,028	4.411.966,077
19/12/2022	1.379.954,916	4.396.950,348	178,014	35,603	4.396.950,348	4.984,397	9.434,752	4.411.369,497
20/12/2022	1.363.632,028	4.344.940,730	175,909	35,182	4.344.940,730	4.925,439	9.323,152	4.359.189,321
21/12/2022	1.331.452,803	4.242.408,068	171,757	34,351	4.242.408,068	4.809,208	9.103,143	4.256.320,418
22/12/2022	1.323.917,183	4.218.397,319	170,785	34,157	4.218.397,319	4.781,989	9.051,622	4.232.230,930

Consumo Diesel								
Fecha	Consumo de Diésel [kg/día]	Emisiones [kg Gas]			Emisiones de $CO_2$ eq [kg $CO_2$ eq]			Emisiones totales [kg $CO_2$ eq]
		$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$	$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$	
23/12/2022	1.359.079,123	4.330.433,809	175,321	35,064	4.330.433,809	4.908,994	9.292,024	4.344.634,826
24/12/2022	1.344.207,372	4.283.047,951	173,403	34,681	4.283.047,951	4.855,277	9.190,346	4.297.093,574
25/12/2022	1.334.229,593	4.251.255,752	172,116	34,423	4.251.255,752	4.819,237	9.122,128	4.265.197,117
26/12/2022	1.319.570,204	4.204.546,542	170,225	34,045	4.204.546,542	4.766,288	9.021,901	4.218.334,731
27/12/2022	1.230.497,365	3.920.733,755	158,734	31,747	3.920.733,755	4.444,556	8.412,910	3.933.591,222
28/12/2022	1.341.443,454	4.274.241,276	173,046	34,609	4.274.241,276	4.845,294	9.171,449	4.288.258,019
29/12/2022	1.309.859,485	4.173.605,279	168,972	33,794	4.173.605,279	4.731,212	8.955,509	4.187.292,000
30/12/2022	1.409.064,549	4.489.702,372	181,769	36,354	4.489.702,372	5.089,541	9.633,774	4.504.425,687
31/12/2022	1.384.028,398	4.409.929,685	178,540	35,708	4.409.929,685	4.999,111	9.462,602	4.424.391,398
<b>TOTAL</b>	<b>37.836.827,900</b>	<b>120.559.484,738</b>	<b>4.880,951</b>	<b>976,190</b>	<b>120.559.484,738</b>	<b>136.666,622</b>	<b>258.690,392</b>	<b>120.954.841,753</b>

Consumo Petróleo crudo								
Fecha	Consumo de Petróleo crudo [kg/día]	Emisiones [kg Gas]			Emisiones de CO <sub>2</sub> eq [kg CO <sub>2</sub> eq]			Emisiones totales [kg CO <sub>2</sub> eq]
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
2/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
3/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
4/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
5/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
6/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
8/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
9/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
10/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
12/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
13/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
14/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
15/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
16/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
17/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
18/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
19/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
20/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
21/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184

Consumo Petróleo crudo								
Fecha	Consumo de Petróleo crudo [kg/día]	Emisiones [kg Gas]			Emisiones de CO <sub>2</sub> eq [kg CO <sub>2</sub> eq]			Emisiones totales [kg CO <sub>2</sub> eq]
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
22/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
23/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
24/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
25/12/2022	8.979,200	27.840,818	1,139460480	0,227892096	27.840,818	31,905	60,391	27.933,114
26/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
27/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
28/12/2022	8.979,200	27.840,818	1,139460480	0,227892096	27.840,818	31,905	60,391	27.933,114
29/12/2022	9.126,400	28.297,225	1,158140160	0,231628032	28.297,225	32,428	61,381	28.391,034
30/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
31/12/2022	23.552,000	73.025,096	2,988748800	0,597749760	73.025,096	83,685	158,404	73.267,184
<b>TOTAL</b>	615.884,800	1.909.606,252	78,156	15,631	1.909.606,252	2.188,362	4.142,256	1.915.936,870