

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Ambiental

**Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Centro de Servicio de Recursos  
Geotérmicos, Guanacaste**

Luis Alonso Vallejos Esquivel

CARTAGO, Abril, 2016



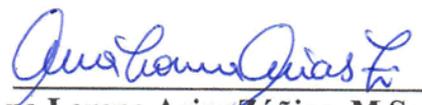
**“Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Sede Central de la Universidad Estatal a Distancia ubicada en Mercedes de Montes de Oca, San José, Costa Rica”**

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

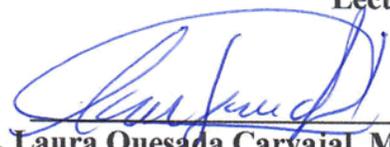
**Miembros del tribunal**

  
M.Sc. Teresa Salazar Rojas

**Director**

  
Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga, M.Sc.

**Lector 1**

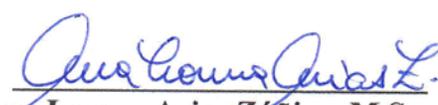
  
Ing. Laura Quesada Carvajal, MDA

**Lector 2**

  
Ing. Diana Zambrano Piamba, M.Sc.  
Coordinador COTRAFIG

  
Dra. Floria Roa Gutiérrez

**Directora Escuela de Química**

  
Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga, M.Sc.

**Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental**

## **DEDICATORIA**

A mi familia y amigos por ser uno de los principales motores para alcanzar mis logros en especial a Mami, Blanca, Papi, Rodolfo, Felipe y Daniel que han sido un pilar importante en mi paso por el TEC. Por último a Desireé por darme a conocer el fascinante universo de las culturas y el voluntariado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al personal de Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos por brindar la información necesaria para llevar a cabo el proyecto, en especial al área de Gestión Ambiental.

Agradezco a mi directora de tesis, MSc. Teresa Salazar por la guía y a los lectores por sus valiosos aportes. Por último agradezco a mi madre y abuela por darme la oportunidad de asistir a tan prestigiosa universidad.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	V
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	X
Resumen .....	XI
Abstract.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
2. REVISIÓN LITERARIA .....	4
2.1 CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO .....	4
2.2 LOS RETOS DE COSTA RICA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO .....	7
2.3 INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	10
2.4 NORMA ISO 14064-1 .....	13
2.5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	14
2.6 CENTRO DE SERVICIO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS .....	17
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO.....	19
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	19
3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	19
3.3.1 CONSUMO DE DIÉSEL.....	20
3.3.2 RECARGA DE EXTINTORES.....	20
3.3.3 CONSUMO DE GASOLINA .....	20

3.3.4	CONSUMO DE REFRIGERANTES.....	21
3.3.5	CONSUMO DE LUBRICANTES .....	21
3.3.6	CONSUMO DE ELECTRICIDAD.....	21
3.3.7	GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	21
3.3.8	VIAJES AL EXTERIOR.....	22
3.3.9	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS .....	22
3.3.10	CÁLCULO DEL INVENTARIO.....	23
3.4	ELABORACIÓN DEL MANUAL .....	24
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1	INVENTARIO DE GEI.....	26
4.1.1	CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	27
4.1.2	CONSUMO DE LUBRICANTES .....	31
4.1.3	RECARGA DE EXTINTORES.....	32
4.1.4	AGUAS RESIDUALES.....	33
4.1.5	RECARGA DE AIRES ACONDICIONADOS.....	34
4.1.6	CONSUMO DE ELECTRICIDAD.....	35
4.1.7	VIAJES AL EXTERIOR.....	38
4.1.8	RESIDUOS SÓLIDOS.....	38
4.2	EXCLUSIONES .....	39
4.3	MANUAL PARA EL CÁLCULO DE INVENTARIOS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	41
5.	CONCLUSIONES.....	43
6.	Recomendaciones.....	44
7.	Bibliografía.....	46
8.	APÉNDICE .....	49

APÉNDICE 1: Manual para la realización de inventario de gases de efecto invernadero .....	50
APÉNDICE 2: Herramienta para la cuantificación del INGEI .....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema del efecto invernadero en la atmósfera y la superficie terrestre. Fuente:(IPCC, 2006).....	5
Figura.2.2. Promedio de las anomalías de temperatura global l desde 1880 al 2012. Fuente (NASA Earth Observatory, 2015) .....	6
Figura.2.3.Concentración de dióxido de carbono en la atmosfera terrestre. Fuente(NASA, 2015).....	7
Figura 2.4. Ejes transversales dela Estrategia Nacional Contra el cambio climático. Fuente: (MINAE, 2014) .....	9
Figura 2.5. Inventario Nacional de GEI para Costa Rica año 2010. Fuente (Chacón & Montenegro, 2014) .....	12
Figura.2.6. Procedimiento para la aplicación de la norma ISO 14064-1. Fuente (ISO, 2006) .....	14
Figura 2.7. Esquema de reservorio o yacimiento geotérmico. Fuente (Fallas & Rodríguez, 2013).....	15
Figura 4.1. Consumo de diésel Unidad de Transportes para el año 2014 .....	28
Figura 4.2. Consumo de diésel perforadoras para el año 2014. ....	30
Figura 4.3. Emisiones de CO <sub>2</sub> e perforadoras CSRG .....	31
Figura 4.4. Distribución de las emisiones directas de CO <sub>2</sub> e del CSRG.....	35
Figura 4.5. Emisiones por consumo de electricidad para el año 2014. ....	36
Figura 4.6. Emisiones históricas de electricidad del CSRG.....	37

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 3.1. Potenciales de Calentamiento Global. ....	23
Cuadro 4.1. Fuentes de emisión dentro de los límites operativos del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos. ....	26
Cuadro 4.2. Inventario de GEI del CSRG Miravalles. ....	27
Cuadro 4.3. Viajes al exterior realizados en el año 2014 en el CSRG .....	38

## **LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

CO<sub>2</sub>e: Dióxido de Carbono Equivalente

CH<sub>4</sub>: Metano

CSRG: Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos

GEI: Gases de efecto invernadero

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo

INGEI: Inventario de Gases de Efecto Invernadero

INTECO: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

ISO: Organización Internacional de Normalización

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio

N<sub>2</sub>O: Óxido Nitroso

PCG: Potencial de calentamiento Global

SIC: Sistema Integrado de Costos

kg: Unidad de masa, kilogramo

t: Unidad de masa, tonelada

l: Unidad de volumen, litros

## **Resumen**

El Calentamiento Global es un efecto provocado por el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Costa Rica es un país que ha servido de ejemplo para el mundo en la protección del ambiente, razón por lo cual se propone como meta país disminuir en un 50% las emisiones de dióxido de carbono para el año 2050 en comparación con el año 2012. Una de las principales fortalezas del país es contar con una matriz energética con un 97% de fuentes renovables, tal es el caso de la energía geotérmica en la provincia de Guanacaste. El Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos es el encargado de la exploración, desarrollo y explotación de los campos geotérmicos. Este documento presenta la primera etapa para alcanzar cero emisiones de carbono mediante la cuantificación del inventario de gases de efecto invernadero (GEI) según la norma INTE-ISO14064-1. La cantidad total de dióxido de carbono liberado a la atmósfera terrestre para el año 2014 fue de 6 115,31 t CO<sub>2e</sub> donde el consumo de diésel fue la principal fuente aportando un 90,79% de la cantidad total de emisiones del inventario.

**Palabras Claves:** Calentamiento Global, Efecto invernadero, Inventario de Gases de Efecto Invernadero, Dióxido de Carbono, Energía Geotérmica.

## **Abstract**

Global warming is an effect caused by the increasing of concentrations of greenhouse gases in the Earth's atmosphere. Costa Rica is an example to the world on environmental protection, this is why the country was proposed it as a goal to reduce in 50% the emissions of greenhouse gases in comparison of 2012. One of the main strengths of the country is having an energy matrix with 97% renewable sources, such is the case of the production of geothermal energy in the province of Guanacaste. The Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos is responsible for the exploration, development and exploitation of geothermal fields. This paper presents the first step to achieve zero carbon emissions by quantifying the inventory of greenhouse gases under the INTE-ISO14064-1 standard, resulting in the total amount of carbon dioxide released into the Earth's atmosphere for the year 2014 was 6 115,31 t CO<sub>2e</sub>, where diesel consumption was the main source providing a 90,78% of the amount of emissions inventory.

**Keywords:** Climate Change, Global Warming, Greenhouse gases, Carbon Dioxide, Geothermal Energy

## **1. INTRODUCCIÓN**

El planeta Tierra actualmente se encuentra en un periodo de aumento de su temperatura media, como consecuencia de las actividades humanas, principalmente por la liberación masiva de gases de efecto invernadero; los cuales al concentrarse en grandes cantidades en la atmósfera terrestre impiden que gran parte de la energía emitida por el sol en forma de calor se refleje al espacio exterior (U S Environmental Protection Agency, 2015a). Una de sus principales consecuencias es el calentamiento global, fenómeno que causa un cambio en los patrones del clima provocando condiciones extremas dependiendo de la región del planeta en la que se encuentre (WWF, n.d.)

Se han descrito gran cantidad de consecuencias por el calentamiento de la Tierra, las cuales provocan un “efecto dominó”, ya que por ejemplo al aumentar la temperatura media del planeta se presentará el derretimiento de los polos; lo cual además provocaría una elevación del nivel de los mares, teniendo como resultado la movilización de gran cantidad de personas, así como pérdida de vidas, infraestructura y especies en peligro de extinción (U S Environmental Protection Agency, 2015)

La Naciones Unidas (ONU) es uno de los organismos internacionales que más se ha preocupado por esta problemática, por lo que en el año 1988 se crea el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático con la finalidad de proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta (IPCC, 2004). La ONU en el año 1996 una metodología para el cálculo de las emisiones de GEI

nacionales con la finalidad de que los países del orbe puedan cuantificar el impacto ambiental como consecuencia de sus actividades.

Costa Rica no se ha quedado atrás en este tema, en el año 2009, se crea un Programa País cuyo principal objetivo es reducir las emisiones de GEI a la atmosfera, inclusive, una de las metas era alcanzar la carbono neutralidad en el año 2021, no obstante dicha meta fue modificada en el presente año y ahora se espera una reducción del 50% de las emisiones para año 2050 en comparación con las emisiones de 2012, asimismo se espera establecer una economía libre de carbono para el año 2100 (MINAE, 2014). Para llegar a dicha meta es necesario que las empresas participen en el proceso, el primer paso es realizar el inventario de gases de efecto invernadero (INGEI) de sus actividades.

El Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos (en adelante, CSRG) forma parte del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), institución líder en el país en la producción de energía mediante el aprovechamiento de los recursos naturales. En el año 2015, el CSRG decide realizar el INGEI de sus instalaciones bajo los lineamientos de la Norma INTE-ISO 14064-1, con el fin de utilizar los resultados como una herramienta para el análisis de los procesos llevados a cabo en la producción de electricidad mediante la geotermia. A partir de los resultados, se establecerán medidas que logren una disminución a mediano y largo plazo de los impactos al ambiente, de tal manera que se logre la certificación carbono neutralidad, contribuyendo con el plan de desarrollo elegido por el país.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el inventario de Gases de Efecto Invernadero del Centro de Recursos Geotérmicos Miravalles

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los límites organizacionales y operativos del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos.
- Estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el Centro de Recursos.
- Elaborar un manual para el cálculo del INGEI según la norma INTE-ISO 14064-1.

## **2. REVISIÓN LITERARIA**

### **2.1 CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO**

La Revolución industrial fue un hecho que marcó historia para la humanidad, luego de este evento tan importante, el ser humano ha obtenido grandes beneficios; como avances tecnológicos, facilidad para conseguir alimentos; se ha logrado erradicar, controlar, tratar gran cantidad de enfermedades; se ha logrado disminuir distancias y tiempos de viajes. No obstante esta situación ha generado un aumento de las emisiones de dióxido de carbono en un 70% afectando de manera importante el equilibrio de muchos ciclos naturales como: ciclo del carbono, ciclo hidrológico y condiciones climáticas en algunas regiones del mundo (IPCC, 2007)

Se define calentamiento global como el aumento de la temperatura media de la superficie terrestre y de la atmosfera baja, como consecuencia del incremento de la concentración de GEI, los cuales alteran el balance radiactivo de la atmosfera, ya que al estar presentes en grandes cantidades retienen la radiación infrarroja que refleja la superficie terrestre y la emiten de nuevo a la Tierra (ver Figura 2.1), este fenómeno es conocido como efecto invernadero. El efecto invernadero es del uso de energía y la expansión de la economía global (IPCC, 2011).m

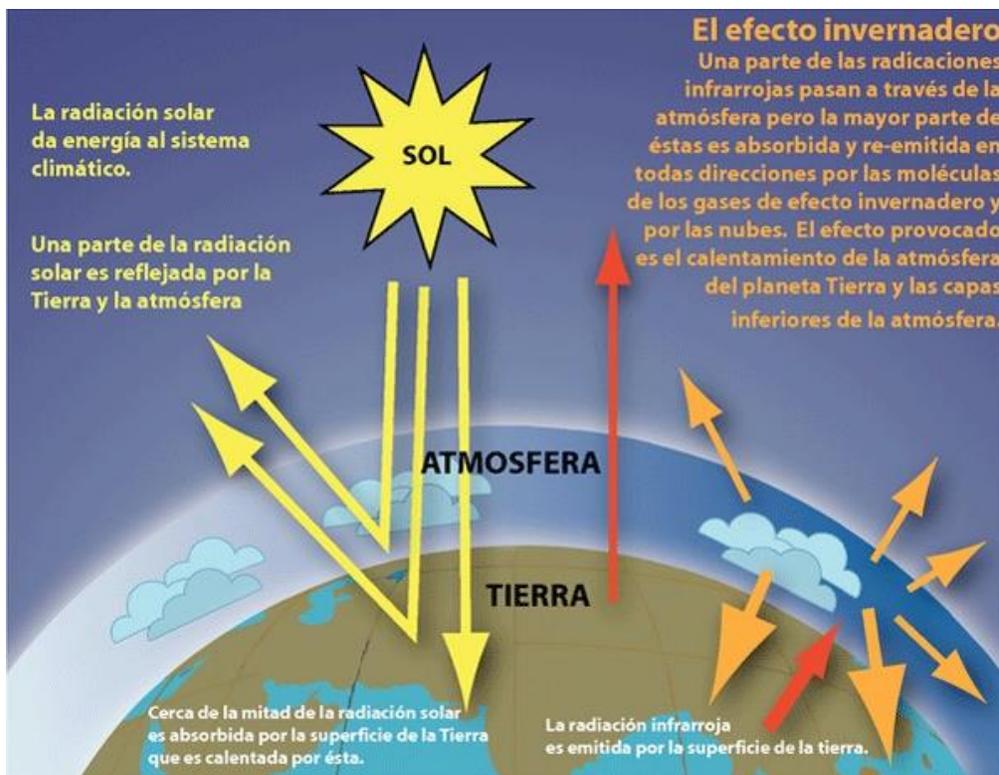


Figura 2.1. Esquema del efecto invernadero en la atmósfera y la superficie terrestre. Fuente:(IPCC, 2006)

El dióxido de carbono es el GEI más común en la atmósfera, esto se debe a que entre los años 1970 y 2004 se dio un aumento de al menos un 80% de este gas. Entre las principales fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> se encuentran el uso de combustibles fósiles y el cambio del uso de suelo (IPCC, 2008).

Como consecuencia de las altas concentraciones de GEI en la atmósfera terrestre, se observan los efectos ocasionados en la temperatura media del planeta (Ver Figura 2.2), según varias agencias meteorológicas en Estados Unidos, Japón y Reino Unido. Asimismo al presentarse un crecimiento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se aumenta la temperatura media del planeta (Ver Figura 2.3)

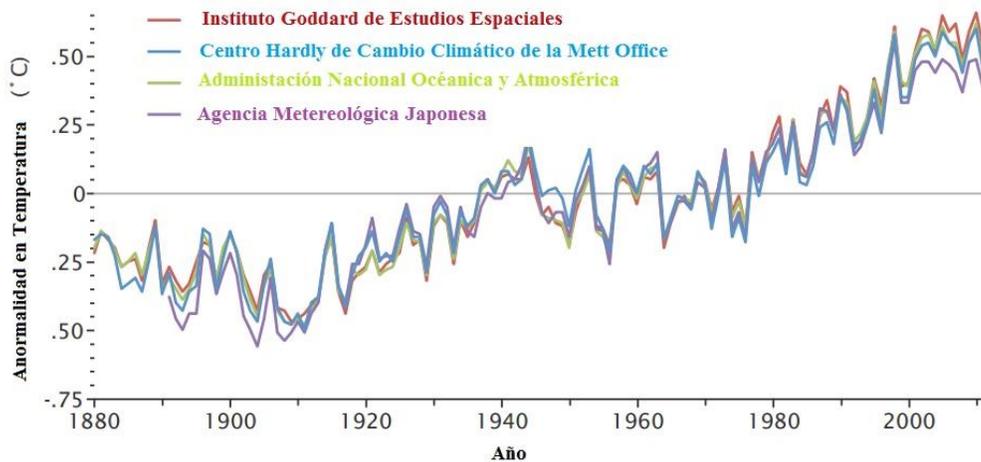


Figura.2.2. Promedio de las anomalías de temperatura global 1 desde 1880 al 2012. Fuente (NASA Earth Observatory, 2015)

Se destaca que en el mes de diciembre del año 2014 se presentaron las condiciones más cálidas de los últimos años, ya que la temperatura media de la tierra en este año aumento en 0.27 °C (Pidcock, 2015).

Los niveles de CO<sub>2</sub> para el mes de diciembre del año 2015 , llegaron a una cifra record de 401.85 ppm en la atmosfera terrestre, esta es la concentración más alta registrada desde hace 650 mil años según los registros que se poseen (NASA, 2015)



Figura.2.3. Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre. Fuente (NASA, 2015)

Como consecuencia del calentamiento global se presenta otro problema, el cambio climático, el cual se define como el cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, la cual altera la composición de la atmósfera global y suma a la variabilidad natural del clima observada durante tiempos comparables (IPCC, 2014).

El cambio climático es una realidad, la emisión de GEI a la atmósfera sin control, está provocando el derretimiento de los casquetes polares, cambios en los patrones del clima, aumento de las sequías, extinción de especies, aumento en el nivel de los mares. Cabe destacar que los océanos son grandes reservorios de carbono pero el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico ha provocado una mayor acidificación de las masas de agua (IPCC, 2013)

## 2.2 LOS RETOS DE COSTA RICA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Por su posición geográfica, Costa Rica es una de las zonas con mayor vulnerabilidad al cambio climático, una variación en la temperatura media en las diferentes regiones del país podrían causar grandes desastres tanto a nivel natural como a nivel social. En la costa Caribe

del país se ubican gran cantidad de arrecifes coralinos de importancia tanto turística como biológica, los cuales son los ecosistemas que se pueden ver mayormente afectados por los efectos del cambio climático, de registrarse un aumento en la temperatura del mar se provocaría un efecto conocido como blanqueamiento, el mismo consiste en la pérdida de algas denominadas zooxantelas que se desarrollan en simbiosis con los corales, causando así gran mortalidad de este sistema acuático (BIOMARCC-USAID, 2013).

En el caso de la costa Pacífica la ciudad de Puntarenas es uno de los asentamientos que pueden verse afectados por este fenómeno provocado por el calentamiento global, según modelos de predicción realizados por el MINAE, si se da una elevación del mar en una magnitud de 0.3 m la línea costera se desplazaría 150 m, ocasionando la inundación del 60% del sector residencial, si el nivel crece en el orden de 1 m, el agua inundaría el 90% de la ciudad (Amit, Jimenez, & Vindas, 2011).

A la velocidad en la que aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera terrestre, se hacen más evidentes los efectos por el desequilibrio que existe en la naturaleza. La región Chorotega ha sido una de las zonas más secas de nuestro país, actualmente se encuentra enfrentando la peor sequía registrada desde hace 78 años, para el mes de mayo del año 2015, solo se había registrado una precipitación mensual de 1.3 litros por metro cuadrado, contrario a lo registrado en la sequía de 1967 donde la precipitación fue de 7.5 litros por metro cuadrado, según datos del IMN (Solano, 2015).

Uno de los principales problemas de los países más vulnerables al cambio climático (entre ellos Costa Rica), es su nivel de crecimiento, ya que la gran mayoría de estos países son pobres o en vías de desarrollo; que a pesar de no producir grandes cantidades de GEI, son los que sufren en mayor parte los efectos de esta problemática, cabe destacar que estas naciones

en muchos casos no cuentan con la tecnología ni el conocimiento para aplicar medidas para disminuir los impactos o adaptarse a los efectos del cambio climático (Amit et al., 2011).

A partir del año 2008 Costa Rica cuenta con una Estrategia Nacional de Cambio Climático, cuyos ejes principales son la adaptación y mitigación (ver Figura 2.4) , asimismo cuenta con 4 ejes transversales: métricas, desarrollo de la capacidad tecnológica en busca de mejorar la eficiencia y eficacia, sensibilización pública, educación y cambio cultural y de financiamiento (MINAE, 2014).

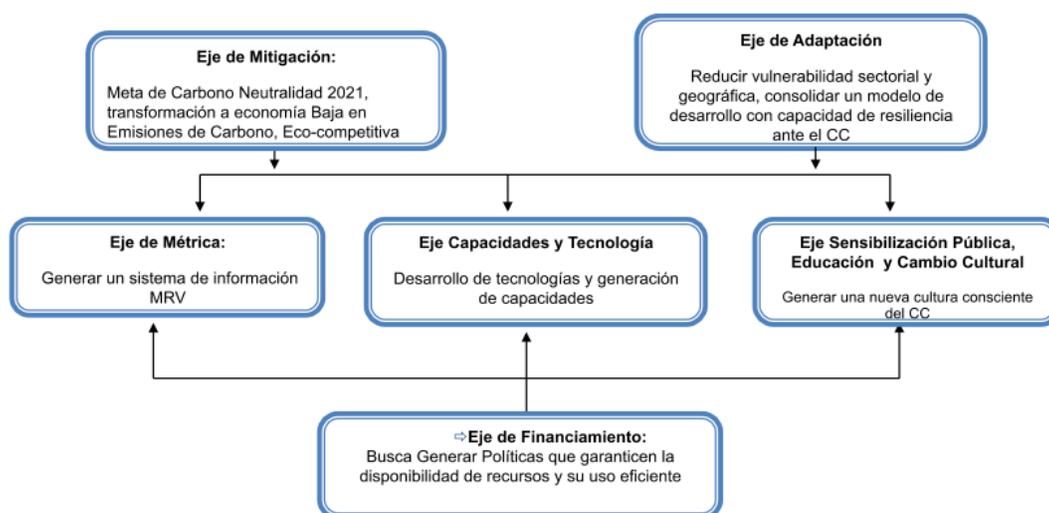


Figura 2.4. Ejes transversales de la Estrategia Nacional Contra el cambio climático. Fuente: (MINAE, 2014)

El Gobierno de la República ha trazado un camino para enfrentar el cambio climático, dando prioridad a los sectores más importantes (energía, transporte, agropecuario y recursos hídricos) desde la óptica del desarrollo humano. En el tema de mitigación el objetivo principal del Programa País es reducir las emisiones de GEI de los sectores priorizados; en adaptación se buscará mejorar la capacidad de resiliencia de las poblaciones más vulnerables

ante los efectos adversos del cambio climático en los sectores priorizados de recursos hídricos y agropecuario (MINAE, 2014).

En el año 2007 el Poder Ejecutivo estableció mediante un Decreto que Costa Rica se convertiría en el año 2021 en un país carbono neutral, mediante el programa de Paz con la Naturaleza durante la administración Arias Sánchez, aunque en setiembre de 2015 se presentó un cambio de esta meta, ahora se espera llegar a ser carbono cero en el año 2100. Ante este nuevo panorama el país se compromete a que las emisiones para el año 2030 sean de 9 374 millones de tCO<sub>2e</sub>, es decir, se estima que las toneladas per cápita sean de 1,19 t CO<sub>2</sub> para el año 2050 y de -0,27 t CO<sub>2</sub> para el año 2100 con el fin de lograr que la temperatura media del país no aumente por más de 2 °C (MINAE, 2015).

Es importante destacar que como consecuencia a la política contra el cambio climático muchas empresas han iniciado su camino para llegar a la carbono neutralidad, esto mediante el cumplimiento de 3 etapas, la primera mediante la elaboración de un INGEI a través de la aplicación de la norma ISO 14064-1, luego de esto se debe demostrar la carbono neutralidad con la norma INTE 12-01-06 y por último la obtención de la marca carbono neutralidad, procesos que deben ser verificados para recibir la certificación por parte del Ministerio de Ambiente y Energía (Dirección de Cambio Climático, 2013).

### 2.3 INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Un inventario de GEI (INGEI) es una estimación de la cantidad total de toneladas de GEI emitidas a la atmosfera terrestre como producto de las actividades realizadas en una institución o compañía (U S Environmental Protection Agency, 2015c). Existen seis GEI: dióxido de carbono, metano, óxido de nitroso, perflorurocarbonos, hexaflorurocarbonos y

hexafloruro de azufre, definidos por la Comisión de Cambio Climático de las Naciones Unidas, como parte de los acuerdos del Protocolo de Kyoto (Naciones Unidas, 1998).

El IMN es el encargado de establecer los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> para las principales actividades industriales del país, los cuales están divididos en los sectores de:

1. Energía
2. Procesos industriales y uso de productos
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
  - 3.1 Ganadería: proceso digestivo vacuno
  - 3.2 Otras especies
  - 3.3 Manejo de estiércol
  - 3.4 Suelos agrícolas
4. Desechos
  - 4.1 Residuos sólidos
  - 4.2 Aguas residuales domésticas
  - 4.3 Aguas residuales industriales

Para establecer las toneladas totales de CO<sub>2</sub> se utilizan de los Potenciales de Calentamiento Global (PCG). El PCG se define como un índice que intenta integrar los impactos climáticos globales de una acción específica, relacionando el impacto de un GEI con unidades equivalentes de CO<sub>2</sub> (IPCC, 1999).

En el año 2014, el MINAE en conjunto con el IMN publicaron el inventario nacional de GEI y absorción de carbono para el año 2010, las emisiones cuantificadas corresponden a 4 áreas:

- Energía

- Procesos industriales y productos
- Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
- Desechos.

La cantidad total de carbono equivalente emitido en Costa Rica para el año 2010 fue de 8,78 millones de t de CO<sub>2e</sub> (ver Figura 2.5). El 73% de las emisiones de CO<sub>2e</sub> corresponde al sector energía (industrias de la energía, industria manufacturera y de construcción, transporte y otros sectores), donde la industria energética es la mayor contribuyente con un 66% de las emisiones del sector energético (en este aspecto se incluye el consumo de combustibles fósiles) (Chacón & Montenegro, 2014).

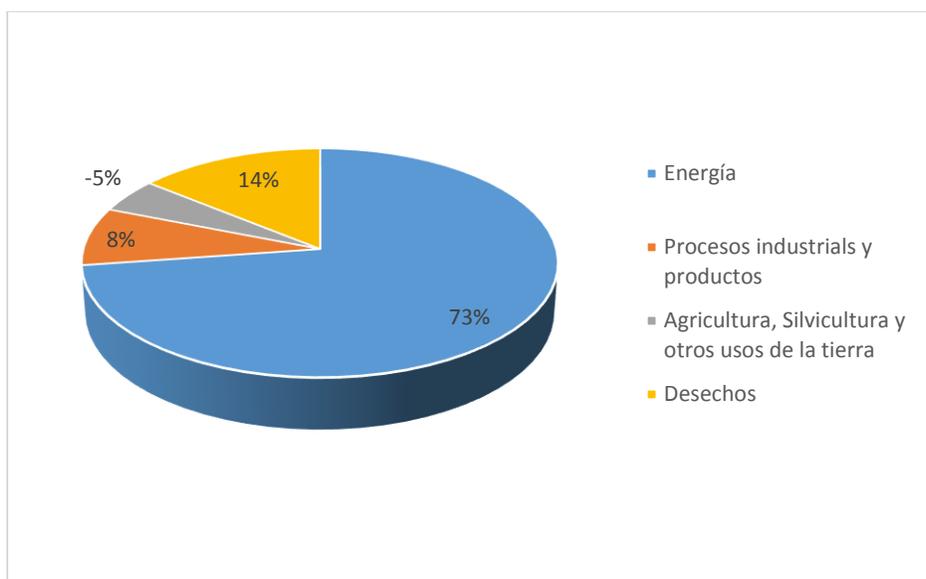


Figura 2.5. Inventario Nacional de GEI para Costa Rica año 2010. Fuente (Chacón & Montenegro, 2014)

A pesar de la gran cantidad de GEI emitidos a la atmósfera en el año 2010, por el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, se logró la absorción de 473000 tCO<sub>2e</sub> producto de la captación por parte de las plantaciones forestales en el país, donde se destacan

las compuestas por las especies de árboles de melina, pochote y eucalipto (Chacón & Montenegro, 2014).

Para el cálculo del INGEI a nivel país existe una guía metodológica desarrollada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) el cual describe de manera detallada los aspectos que se deben considerar al momento de realizar la cuantificación de las emisiones. El objetivo principal de la guía es orientar a los países para la realización de los inventarios nacionales de GEI, esto se ha logrado mediante el desarrollo de factores de emisión por actividades por lo que los países con menor experiencia en el tema puedan estimar sus emisiones y absorciones suministrando los datos dependiendo de la actividad nacional. Además, el método permite a los países con mayor experiencia e información utilizar metodologías más detalladas que sean específicas del país (IPCC, 2006).

#### 2.4 NORMA ISO 14064-1

Al dar inicio la cuantificación de los INGEI a nivel de los diferentes países, las instituciones, compañías y organizaciones de los gubernamentales vieron la necesidad de involucrarse en el proceso para la disminución de las emisiones de GEI. Como consecuencia de esta preocupación se crea la norma ISO 14064. El apartado 14064-1 detalla los principios y requisitos para el diseño, desarrollo y gestión de los INGEI para compañías y organizaciones, y para la presentación de informes sobre estos inventarios.

La Norma es una guía para la determinación de los límites operativos y organizacionales de las compañías, además instituye los requisitos para cuantificar las emisiones y remociones de GEI. Según ISO 14064-1, en 2006 se establece una clasificación para las emisiones:

- Directas : emisiones producidas como resultado de los procesos que se llevan a cabo en la compañía
- Indirectas: emisiones producto de la generación de energía, calor o vapor de origen externo consumido por la empresa)
- Otras indirectas: se refiere a emisiones que se producen por las actividades de la empresa, pero de las cuales la no se posee control alguno

En general la aplicación de la norma ISO 14064-1 posee el procedimiento que se observa en la Figura 2.6.



Figura.2.6. Procedimiento para la aplicación de la norma ISO 14064-1. Fuente (ISO, 2006)

## 2.5 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es aquella que se produce a partir de un recurso geotérmico, el cual consiste en un yacimiento de energía térmica desde el interior de la Tierra que se

encuentra almacenada tanto en la roca, como en el vapor de agua o agua líquida (Goldstein et al., 2011).

Un requisito básico para la determinación de un yacimiento geotérmico (ver Figura 2.7) es la presencia de un estrato roca permeable donde el líquido geotérmico al circular por la roca permeable, provoca que se transfiera el calor de la roca al fluido; fluidos que se desplazan a través de las fracturas que deben ser interceptadas por el pozo geotérmico en la superficie (Fallas & Rodríguez, 2013).

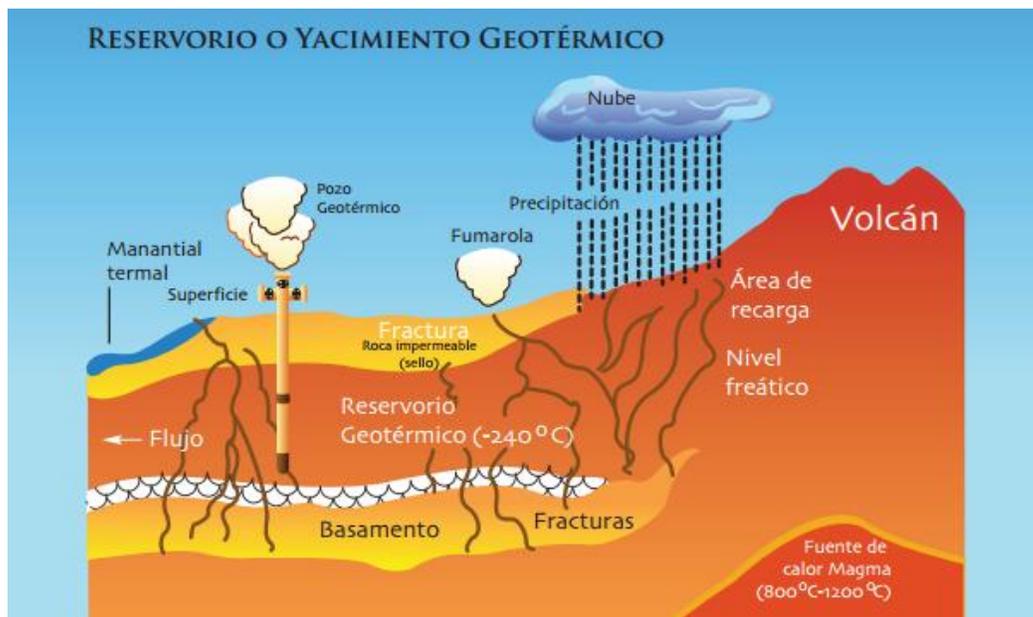


Figura 2.7. Esquema de reservorio o yacimiento geotérmico. Fuente (Fallas & Rodríguez, 2013)

Los reservorios o yacimientos geotérmicos presentan características diferentes dependiendo de su ubicación geográfica; la capacidad de explotación va a depender de la temperatura y la profundidad a la que se encuentren, por lo que existen tres tipos de yacimientos. Los de alta temperatura (mayor a 180°C) corresponden a sistemas hidrotermales cuya característica principal es que se encuentran asociados a la actividad volcánica reciente

y se ubican cerca de los límites de las placas tectónicas. Los Intermedios (100 a 180 °C) se encuentran entre la corteza y el manto con anomalías de punto caliente y los de baja temperatura (menor a 100°C) están asociados a entornos continentales donde la producción de calor se lleva a cabo por la descomposición de los isotopos radioactivos, logrando así un aumento de calor en flujo terrestre o en sitios donde los acuíferos son cargados por agua caliente a través de la circulación a lo largo de las zonas penetrantes en las profundidades (Goldstein et al., 2011). En condiciones apropiadas los reservorios de alta, media y baja temperatura, pueden ser utilizados para la generación energía o directamente para el calentamiento (Tester, Anderson, Batchelor, Blackwell, & DiPippo, 2006).

La energía geotérmica se considera como una fuente renovable aunque el periodo de explotación del yacimiento geotérmico va a depender de la disposición que se le dé al agua caliente, vapor y calor, ya que si no se administra de la manera correcta, se puede dar la extracción de energía térmica tan rápidamente que el sistema no tenga tiempo de reponerse (Duffield & Sass, 2003).

Los principales impactos ambientales en la explotación de esta fuente de energía se dan en la etapa de construcción de los pozos de producción y en la reinyección por la utilización de las perforadoras se da la producción de altos niveles de ruido, emisión de GEI a la atmosfera por el uso de combustibles fósiles y; tala de árboles para la creación de las plazoletas para perforación, elaboración de caminos y tuberías. (Goldstein et al., 2011).

En el país, el ICE ha sido el pionero en la explotación de la energía geotérmica, el primer proyecto desarrollado fue Miravalles, ubicado en las faldas del volcán con el mismo nombre en el año 1980 con la perforación de 3 pozos por parte de la empresa francesa Forakay

Foramines encargada de corroborar la existencia de un yacimiento geotérmico en la zona (Fallas & Rodríguez, 2013).

La construcción del proyecto logró el desarrollo de los pueblos aledaños, asimismo se logró aumentar la capacidad técnica del ICE para la expansión del proyecto, ya que hoy en día el Campo Geotérmico cuenta con 5 plantas generadoras de electricidad cuya capacidad es de un total 162,5 MW.

El complejo Geotérmico Miravalles es el único a nivel mundial donde se da la generación de electricidad a partir de pozos ácidos, como resultado de las investigaciones realizadas por el ICE; logrando así posicionar a Costa Rica como uno de los referentes en energía geotérmica a nivel mundial. Actualmente están en operación el complejo Miravalles y Pailas I; para los próximos años se espera la construcción de Pailas II y el desarrollo del Complejo Geotérmico Borinquén, el cual se encuentra en etapa de exploración (Fallas & Rodríguez, 2013).

## 2.6 CENTRO DE SERVICIO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS

El Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos (CSRG), forma parte del Negocio de Ingeniería y Construcción del ICE, específicamente se encarga de los procesos de: exploración, desarrollo y explotación de los recursos geotérmicos. La exploración consiste en la realización de los estudios preliminares para establecer cuáles son los sitios que cuentan con las características necesarias para la producción de energía geotérmica. En la etapa de desarrollo, se lleva a cabo proceso de perforación de los pozos geotérmicos, así como la construcción de la infraestructura (vapoductos, caminos, puentes, estaciones de separación, entre otros).

La explotación de los recursos geotérmicos es la etapa final del proceso; ésta es llevada a cabo en el CSRG, donde se da entrega del vapor seco a las casas de máquinas para la producción de energía eléctrica. En forma general el CSRG está organizado en 4 grandes áreas: Gestión Empresarial-Administrativa, Geociencias, Perforación Profunda y Suministro de Vapor.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO**

La determinación del INGEI se realizó en el Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos, ubicado en el distrito de Mogote, Bagaces en la provincia de Guanacaste. La metodología utilizada se basó en la en la norma INTE-ISO 14064-1: 2006, que detalla los lineamientos para la determinación y presentación de inventarios en compañías y organizaciones, así como algunos aspectos importantes que destaca la IPCC con respecto a la recolección de datos.

Los procesos del CSRG seleccionados fueron: Exploración, Explotación, Desarrollo y Suministro de Vapor. La elección de los procesos se basó en los intereses del área de Gestión Administrativa del Centro de Servicio. Los datos utilizados para el cálculo del INGEI corresponden al periodo 2014 (los meses de enero a diciembre), además la cantidad de GEI emitidos se establecieron para cada una de las fuentes de emisión.

#### **3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO**

Para identificar las fuentes de emisión involucradas en la cuantificación del inventario de GEI se realizaron visitas a las diferentes áreas de la compañía. Asimismo se efectuaron entrevistas al personal encargado de cada uno de los departamentos del CSRG, con el fin de conocer las actividades y procesos que se llevan a cabo en el mismo.

#### **3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

A continuación se presentan las fuentes de información utilizada para recabar los datos necesarios para realizar el cálculo del INGEI del CSRG. Cabe destacar que en el proyecto,

no se realizó un análisis de incertidumbre de los datos suministrados, por lo tanto para evitar un aumento del error se tomaron datos primarios, evitando la utilización de datos secundarios.

### 3.3.1 CONSUMO DE DIÉSEL

La información suministrada sobre el consumo de diésel se obtuvo de la base de datos que maneja el departamento de Gestión Ambiental, donde se llevan los registros del gasto de diésel por mes, tanto de la flotilla vehicular, así como la cantidad que se utiliza en el proceso de perforación.

### 3.3.2 RECARGA DE EXTINTORES

Se solicitó al encargado de Salud Ocupacional, un inventario de los extintores pertenecientes al CSRG, así como el agente activo en cada uno de los aparatos (solamente se tomaron en cuenta para el INGEI; los que tenían como agente activo dióxido de carbono). Asimismo se participó en una jornada de revisión, con el fin de establecer el periodo de recarga de los equipos.

### 3.3.3 CONSUMO DE GASOLINA

Para determinar el consumo de gasolina se obtuvieron los datos del sistema integrado de costos (SIC). Al existir sólo el registro financiero por compra de combustible se procedió a realizar una estimación de la cantidad de litros consumidos en el año 2014, por lo tanto se estableció un promedio del precio de combustible a lo largo del mismo año, el costo de los combustibles se obtuvo de la Refinadora Costarricense de Petróleo y se obtuvo un promedio de 747,61 colones por litro de gasolina. Es importante mencionar que a lo largo del año los precios del combustible variaron un 0,19 %, siendo el periodo del 4 de julio al 01 de agosto

del 2014 donde se presentó un aumento del 4,35% en el precio de la gasolina, tomando de base el periodo del 30 de noviembre del 2013 hasta el 22 de enero del 2014.

#### 3.3.4 CONSUMO DE REFRIGERANTES

Se entabló una reunión con el encargado de mantenimiento del Centro de Servicios. En el periodo elegido para realizar el inventario, año 2014, no existían registros acerca de la cantidad de chequeos a los sistemas de aire acondicionado, por lo que se obtuvo una lista de todos los equipos, así como su respectivo refrigerante. Se estimó una recarga en todos los equipos para el periodo 2014.

#### 3.3.5 CONSUMO DE LUBRICANTES

Los datos acerca del consumo de lubricantes fueron obtenidos del SIC, de donde se adquirió una lista de los lubricantes utilizados en el CSRG, además para determinar los volúmenes de los recipientes se llevó a cabo mediante la consulta al sistema de control de activos.

#### 3.3.6 CONSUMO DE ELECTRICIDAD

El área de Gestión Ambiental lleva registro de la cantidad de kWh horas consumidos por mes, los datos son obtenidos de un único medidor que se encuentra instalado en el CSRG. La información fue suministrada mediante correo electrónico, donde se encontraba correctamente tabulado el consumo de energía eléctrica en las instalaciones.

#### 3.3.7 GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

En el Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos no se cuenta con planta de tratamiento, el método para la depuración de aguas residuales corresponde a sistema de tanques sépticos,

por lo que para determinar la cantidad de emisiones por esta variable, se obtuvo la cantidad total de colaboradores (para el año 2014) mediante el área de Gestión de Capital Humano.

### 3.3.8 VIAJES AL EXTERIOR

La información acerca de la cantidad y destinos de los viajes al exterior realizados en el periodo 2014 fue suministrado por el departamento de Contabilidad, para el cálculo de las emisiones por este concepto se utilizó la calculadora de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO por sus siglas en inglés).

La metodología está diseñada con la menor cantidad de variables. Toma en cuenta la cantidad de combustible en cada vuelo, de acuerdo a los datos de cada país de la base de datos de la ICAO; también los rendimientos de las aeronaves son tomados en cuenta para el cálculo, así como la clase en la que se viaja y; la cantidad promedio de pasajeros por vuelo. Las distancias son calculadas por medio del uso de las coordenadas geográficas de cada aeropuerto (ICAO, 2014).

### 3.3.9 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La cantidad total de residuos sólidos fue proporcionada por el área de Gestión Ambiental. Se cuenta con un registro de la totalidad de residuos sólidos producidos anualmente, así como un inventario de todos los residuos (valorizables y no valorizables) que se producen como consecuencia de los procesos que se llevan a cabo.

### 3.3.10 CÁLCULO DEL INVENTARIO

Para efectuar el cálculo de las toneladas de GEI de acuerdo con cada una de las fuentes de emisión de los procesos involucrados en la producción de energía geotérmica, se utilizó la Ecuación 1.

Todos los factores de emisión utilizados para el cálculo de las toneladas de CO<sub>2</sub>e para el año 2014 se adquirieron de IMN, el cual publicó en junio del año 2015 “Los factores de emisión de gases de efecto invernadero” para Costa Rica.

$$\text{Toneladas de GEI} = \text{variable} \times \text{factor de emisión} \quad \text{Ecuación 1}$$

Una vez calculadas las toneladas de GEI de acuerdo a cada una de las variables involucradas en los procesos, se convirtieron a CO<sub>2</sub>e mediante la Ecuación 2, utilizando los potenciales de calentamiento suministrados por el IMN.

Cuadro 3.1. Potenciales de Calentamiento Global.

<b>GEI</b>	<b>Potencial de Calentamiento Global</b>
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
R22	1790
R140a	1725

$$\text{Toneladas CO}_2\text{e} = \text{Ton CO}_2 \times 1 + \text{Ton CH}_4 \times 21 + \text{N}_2\text{O} \times 310 + \text{R22} \times 1790 + \text{R140a} \times 1725$$

Ecuación 2

### 3.4 ELABORACIÓN DEL MANUAL

La realización del manual se hizo con base en la norma INTE-ISO 14064-1 donde se establecen los lineamientos que se deben llevar a cabo para realizar un INGEI en una institución u organización. Los aspectos principales son: el establecimiento de los límites organizacionales y operativos, recolección de los datos y por último la estimación de las emisiones de GEI de acuerdo al proceso productivo llevado a cabo en la empresa o institución.

Asimismo para facilitar los cálculos de futuros INGEI en el CSRG Miravalles, se elaboró una herramienta para el cálculo de las emisiones mediante la utilización de Excel de Windows, por lo tanto programaron las ecuaciones 1 y 2, para cada una de las fuentes de emisión identificadas, por lo tanto para llevar a cabo el cálculo solamente se introducen los datos asociados a cada una de las fuentes (consumo de gasolina, consumo de electricidad, entre otros) y el programa calcula las emisiones por cada uno de los GEI, así como las toneladas totales de carbono equivalente.

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El primer paso para la cuantificación del INGEI del CSRG fue determinar de los límites organizacionales y operativos. De acuerdo con el apartado 2.4 del marco teórico, existen diferentes formas de establecer los límites organizacionales en una compañía. En el caso del CSRG Miravalles no se aplica el tipo de control financiero, ya que el presupuesto con el que se cuenta debe ser aprobado previamente por la unidad de presupuestos del ICE, el enfoque de acciones comunes tampoco se puede aplicar, ya que el Estado Costarricense es el dueño de todos los activos de la institución, por lo tanto los límites organizacionales que se utilizaron en el inventario son los de Control Operacional, esto se debe a que el CSRG se encarga de los estudios previos para determinar la cantidad de pozos, dirección de los vaporductos, perforación de pozos de generación o reinyectores, construcción de lagunas de reinyección, así como las obras necesarias para llevar a cabo este proceso, luego de terminadas este tipo de obras se encarga de la hacer llegar el vapor a la casa de máquinas para producir energía eléctrica, así como todas las actividades de logística que se necesitan para el desarrollo de dichas actividades.

Los límites operativos se determinaron de acuerdo con las actividades del CSRG, las cuales corresponden a exploración, desarrollo y explotación, por lo tanto se identificaron las emisiones generadas (ver Cuadro 4.1) producto de los procesos que se llevan a cabo.

Cuadro 4.1. Fuentes de emisión dentro de los límites operativos del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos.

<b>Tipo de Emisión</b>	<b>Fuente</b>
<b>Emisiones directas</b>	Consumo Diésel
	Recarga de Extintores
	Consumo de Gasolina
	Lubricantes
	Refrigerantes
	Aguas Residuales
<b>Emisiones Indirectas</b>	Consumo de Electricidad
<b>Otras emisiones indirectas</b>	Viajes al exterior
	Residuos Sólidos

Es de gran importancia que las empresas o instituciones establezcan y documenten sus límites operativos, así mismo identifiquen sus emisiones y en algunos casos las remociones de GEI (INTECO, 2006), ya que esto les permitirá evitar inconvenientes al momento de una verificación de un INGEI y resolver de manera eficiente y rápida inconformidades u observaciones realizadas por los verificadores.

#### 4.1 INVENTARIO DE GEI

Como resultado del INGEI para el año 2014 se obtuvo, un total de 6115,31 t CO<sub>2e</sub> emitidas a la atmósfera. Los mayores aportes se dieron en el consumo de diésel, el cual representó el 90,79% del inventario y el consumo de refrigerantes con un 4,77% (ver Cuadro 4.2)

Cuadro 4.2. Inventario de GEI del CSRG Miravalles.

<b>Tipo de Emisión</b>	<b>Fuente</b>	<b>t de CO<sub>2e</sub></b>	<b>%</b>
Directas	Consumo Diésel	5552,07	90,79
	Recarga de Extintores	0,29	0,00
	Consumo de Gasolina	134,03	2,19
	Refrigerantes	291,64	4,77
	Aguas Residuales	46,63	0,76
	Lubricantes	12,71	0,21
Indirectas	Consumo de Electricidad	72,64	1,19
Otras Indirectas	Viajes al exterior	5,19	0,08
	Residuos Sólidos	0,11	0,00
	<b>Total</b>	<b>6115,31</b>	<b>100</b>

Cabe destacar que los aportes de las emisiones producidas por la recarga de extintores y tratamiento de residuos sólidos son tan bajas que al realizar el redondeo el porcentaje de aporte es de 0%.

A continuación se presenta una descripción de cada una de las fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> que se producen como parte de los procesos realizados en el CSRG

#### **4.1.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES**

La Unidad de Transportes en el CSRG Miravalles es la encargada de la administración y mantenimiento de los equipos utilizados para el transporte de personal, así como de la maquinaria pesada (montacargas, vagonetas, back hoes, cisternas para el transporte de

gasolina, camiones para el transporte de cargas entre otros). Actualmente CSRG Miravalles lleva a cabo procesos en tres campos geotérmicos: Complejo Geotérmico Miravalles, Las Pailas y Borinquen (se encuentra en etapa de explotación).

Para el año 2014 se utilizaron 215375,53 l de diésel en los vehículos a cargo de la Unidad de Transportes, en la Figura 4.1 se debe prestar atención a que en enero y diciembre son los meses donde se presenta una disminución del consumo de diésel. En diciembre se detiene el proceso productivo, por un periodo de aproximadamente 15 días por motivo de vacaciones; en enero se da el inicio de las labores; mes que se caracteriza por bajos niveles de consumo de diésel, ya que las actividades desarrolladas en los primeros días corresponden a procesos administrativos. En los demás meses del año se observa una variación de los datos, ya que el consumo de combustible depende tanto de las labores programadas, como de los inconvenientes que se presentan. El mes de octubre representa el mayor consumo de combustible del año 2014.

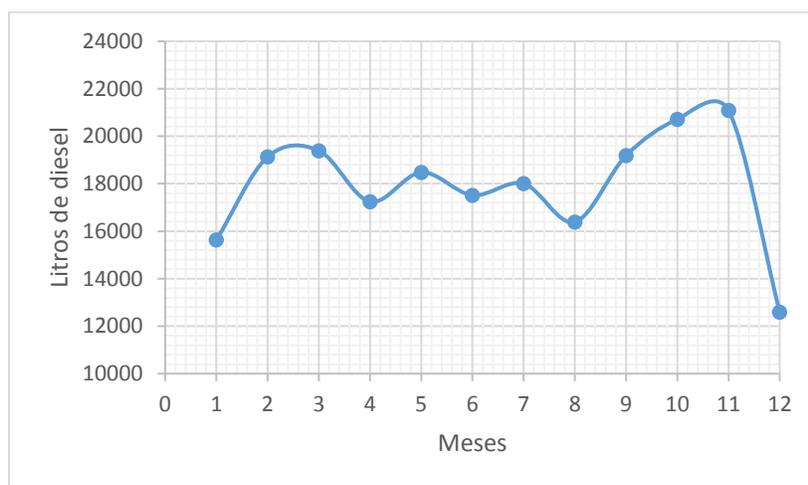


Figura 4.1. Consumo de diésel Unidad de Transportes para el año 2014

Actualmente el CSRG tiene a cargo 3 campos geotérmicos; campo geotérmico Miravalles y Pailas I que se encuentran en explotación, además se están desarrollando los complejos

Pailas II y Borinquen. Durante los 7 días de la semana realizan obras de mantenimiento, monitoreo, vigilancia, entre otras en todos los campos geotérmicos, los cuales poseen solamente de caminos internos un total de 178,4 km en total, razón por la se justifica la gran cantidad de diésel utilizada por la unidad de transportes. Es importante destacar que se realizan visitas a escuelas, colegios y universidades que se encuentran en el área de influencia de los tres proyectos, además de las visitas periódicas a las oficinas centrales del ICE como parte de los procesos que llevan a cabo las diferentes unidades que componen el CSRG.

Para el periodo 2014 se producen por concepto de consumo de diésel para transporte un total de 548,45 t CO<sub>2e</sub> representando el 9,64% del total de las emisiones del CSRG.

El Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos posee una flotilla vehicular (automóviles y maquinaria pesada) a base diésel, sin embargo; para el funcionamiento del equipo menor se utiliza gasolina.

El equipo menor corresponde a soldadoras, máquinas para cortar malezas, montacargas, entre otros. Este equipo es utilizado en actividades para el mantenimiento del campo geotérmico, en especial de las unidades de separación de vapor y agua para la producción de energía geotérmica.

Para el periodo 2014 se utilizaron aproximadamente 1348,93 litros de gasolina, los litros de gasolina son un aproximado, ya que solo se cuenta con la información del sistema de gestión contable y no se lleva un registro de los litros reales utilizados por cada uno de los departamentos que utilizan el equipo menor. Los 1348, 93 litros de gasolina equivalen a 134,90 t CO<sub>2e</sub> lo cual representa un 2,02% del total de las emisiones del CSRG.

Además del consumo de combustibles fósiles para el transporte y el funcionamiento de equipos para la realización de actividades en campo, se da la utilización de diésel para llevar

a cabo el proceso de perforación de los pozos para la producción de energía geotérmica. Para el 2014 el departamento de perforación profunda necesito un total de 1 838 659 litros de diésel para llevar a cabo la perforación de un total de 11 402,61 metros. En este caso los mayores consumos de diésel se dieron en el mes de octubre como muestra en la Figura 4.2

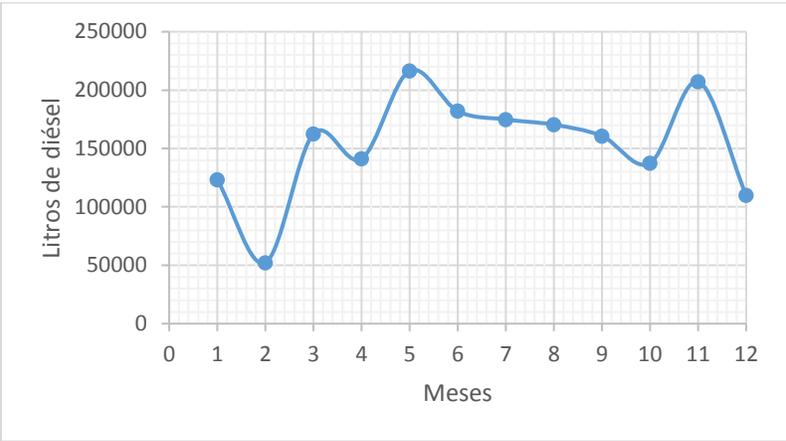


Figura 4.2. Consumo de diésel de perforadoras para el año 2014.

En el mes de febrero se presentó una disminución significativa del consumo de diésel de las perforadoras, esto se puede deber a que al año se dan al menos 3 mantenimientos preventivos a los equipos causando así que se detenga la maquinaria para la perforación de pozos. Otra de las posibles razones de menor consumo de combustible pueden ser los problemas con la superficie perforada, ya que muchas veces dependiendo de las características del suelo se producen obstrucciones mientras se está perforando.

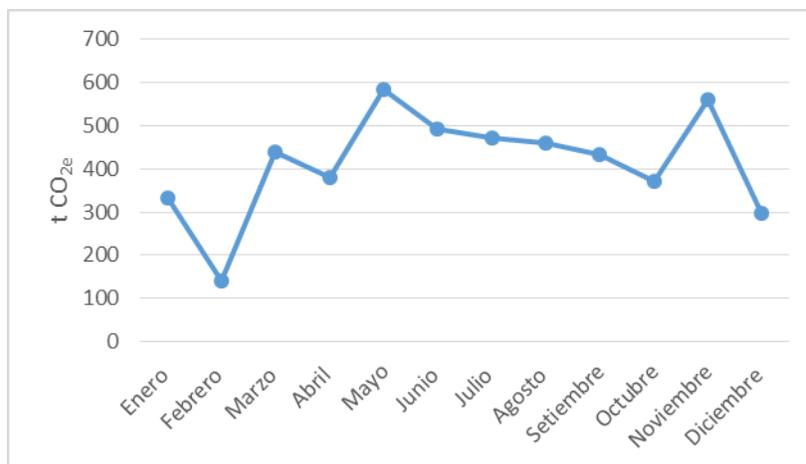


Figura 4.3. Emisiones de CO<sub>2e</sub> perforadoras CSRG

Para el 2014 como consecuencia del proceso de perforación de pozos se dio la producción de 4 692,61 t CO<sub>2e</sub> (Figura 4.3), donde mayo representa el mes de mayor cantidad de emisiones a la atmósfera con un total de 584,54 t CO<sub>2e</sub>; se destaca la actividad de perforación el proceso de mayor producción de GEI, con un aporte del 76,72 % del total de las emisiones de CO<sub>2e</sub> del CSRG.

#### 4.1.2 CONSUMO DE LUBRICANTES

En el proceso de perforación, así como las actividades de mantenimiento de vehículos y maquinaria se utilizan gran cantidad de lubricantes para reducir la fricción entre las superficies de rodamiento, así como para mantener una temperatura adecuada entre las partes móviles del motor de los diferentes equipos. La mayor cantidad de lubricantes son utilizados en la perforación de pozos geotérmicos.

El CSRG Miravalles realiza las compras de lubricantes anualmente, por lo tanto para determinar la cantidad de lubricante utilizado por año, los datos disponibles para realizar el

cálculo fueron suministrados por el Departamento de contabilidad, mediante el SIC, es necesario hacer énfasis en que algunos de los lubricantes que se encuentran en los almacenes del Centro no se contabilizaron dentro del INGEI, ya que la compra de los mismos corresponde a periodos anteriores al 2014 que fue el elegido como el año base. Para llevar a cabo el cálculo del CO<sub>2e</sub> liberado a la atmosfera se usó el factor de emisión publicado en la última actualización de los “Factores de Emisión de GEI” por parte del IMN.

INTECO mediante la circular INT-DEC-145-2015 hace énfasis en que los lubricantes que se deben contabilizar en el INGEI son todos aquellos que se utilicen para reducir fricción, no así los que se queman con el combustible.

El aporte al INGEI como producto del consumo de lubricantes es de 12,71 t CO<sub>2e</sub>, es decir, representa solamente un 0,21% del total de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

### **4.1.3 RECARGA DE EXTINTORES**

El CSRG Miravalles cuenta con un plan para atender cualquier emergencia que se puede presentar en el desarrollo de las actividades de exploración, desarrollo y explotación de los geotérmicos. Entre las acciones que se contemplan a realizar en caso de presentarse un incendio, una de las principales acciones es la utilización de extintores para sofocar el fuego y detener un posible incendio; por lo tanto en cada una de las áreas de trabajo del Centro se encuentran distribuidos gran cantidad de extintores. Para el año 2014 según información del área de Gestión en Salud Ocupacional se contó con 65 equipos de CO<sub>2</sub> como agente extintor en todos las áreas del Centro.

Estos equipos reciben dos mantenimientos al año, con el fin de evaluar la calidad de los mismos, cumpliendo de esta manera con el Decreto N° 25985-MEIC-MTSS RTRC 227:1997 Procedimiento para el mantenimiento y recarga de los extintores portátiles, el cual establece al menos una revisión anual, para comprobar el buen funcionamiento de los dispositivos. En el año 2014 se realizó la recarga de los equipos, por lo que según el decreto antes mencionado se debe dar la descarga de los equipos, para poder realizar la sustitución del agente en las condiciones de presión necesarias para la utilización del equipo. El aporte al INGEI por parte de las recargas de los extintores corresponde a 0,29 t CO<sub>2e</sub>, lo que representa un 0,005% de las emisiones globales de GEI.

#### **4.1.4 AGUAS RESIDUALES**

El CSRG no cuenta con una planta para el tratamiento para depuración de aguas residuales, por lo tanto en todo el plantel, las plazoletas de perforación y demás espacios cuentan con tanques sépticos. En cuanto a la actividad industrial utilizada, se da la producción de aguas geotérmicas, las cuales son retenidas en lagunas para ser reinyectadas mediante pozos y de esta manera volver a los yacimientos geotérmicos con el fin de alargar la vida útil de los campos geotérmicos.

Además las aguas jabonosas producto del lavado de la flotilla vehicular, son filtradas a través de un sistema de filtros que retienen compuestos orgánicos y después son desechadas al alcantarillado pluvial. Cabe destacar que en los talleres y plataformas de perforación se cuenta con un protocolo para la atención de derrames de aceites, el cual consiste en colocar un material absorbente para evitar la contaminación de suelo o cuerpos de agua cercanos.

Actualmente el CSRG cuenta con un total de 507 colaboradores, por lo tanto para el año 2014 se emitieron un total de 46,63 t CO<sub>2e</sub>

#### **4.1.5 RECARGA DE AIRES ACONDICIONADOS**

La provincia de Guanacaste es una de las zonas más calientes del país, que se encuentra enfrentando una de las mayores sequías de la historia, por lo tanto se presentan altas temperaturas, razón por la cual en el CSRG, existe gran cantidad de equipos de aires acondicionados. Se cuenta con un total de 112 unidades, de las cuales 91 (81,25%) utilizan como agente refrigerante el R22; los 21 equipos restantes cuentan con R140a como refrigerante.

El refrigerante R22 es un HCFC, compuesto químico que participa en el debilitamiento de la capa de ozono, debido a esta problemática en el año 2007 mediante el Protocolo de Montreal se acordó que los países desarrollados reducirían el consumo y producción de HCFCs en un 75% el año 2010, 90% para el 2015, con una sustitución total para el 2020. En el caso de los países en vías de desarrollo se estableció una reducción del 1% para el 2010, 35% para el 2015, 67,5% en el 2020 y una sustitución total en el 2030 (Danfoss, 2009).

De acuerdo con el inventario de aires acondicionados suministrado por el área de mantenimiento del CSRG, se obtuvo la capacidad de refrigerante de cada unidad (gramos totales por unidad). Para evitar las fugas de agente refrigerante durante la inspección o reparación de los sistemas de aire acondicionado se cuenta con una máquina para transferir el gas a un cilindro que almacena el gas para perdidas en cada una de las inspecciones.

Es importante destacar que para el año 2014 a los equipos solamente se les dio mantenimiento preventivo, no se presentaron fugas de refrigerantes, pero de igual forma se realiza el cálculo de las emisiones con el fin de sentar un precedente para futuros inventarios, ya que en años anteriores no existían registros de mantenimientos ni de la cantidad de refrigerante que se utilizaba al recargar los equipos.

La cantidad total de emisiones por concepto recarga de aire acondicionado fue de 291, 64 t CO<sub>2e</sub> mayoría de estas emisiones se deben al refrigerante R22 (74,21%).

### Resumen Emisiones Directas

En total por concepto de emisiones directas se produjeron un total de 6037, 37 t CO<sub>2e</sub> donde la mayor fuente de CO<sub>2e</sub> en fue el consumo de diésel, lo cual concuerda con la actividad principal del CSRG Miravalles que es la producción de vapor geotérmico para la generación de electricidad, ya que la perforación es la labor más agresiva y que produce mayor cantidad de emisiones, seguido por la recarga de extintores y consumo de gasolina (ver Figura 4.4)

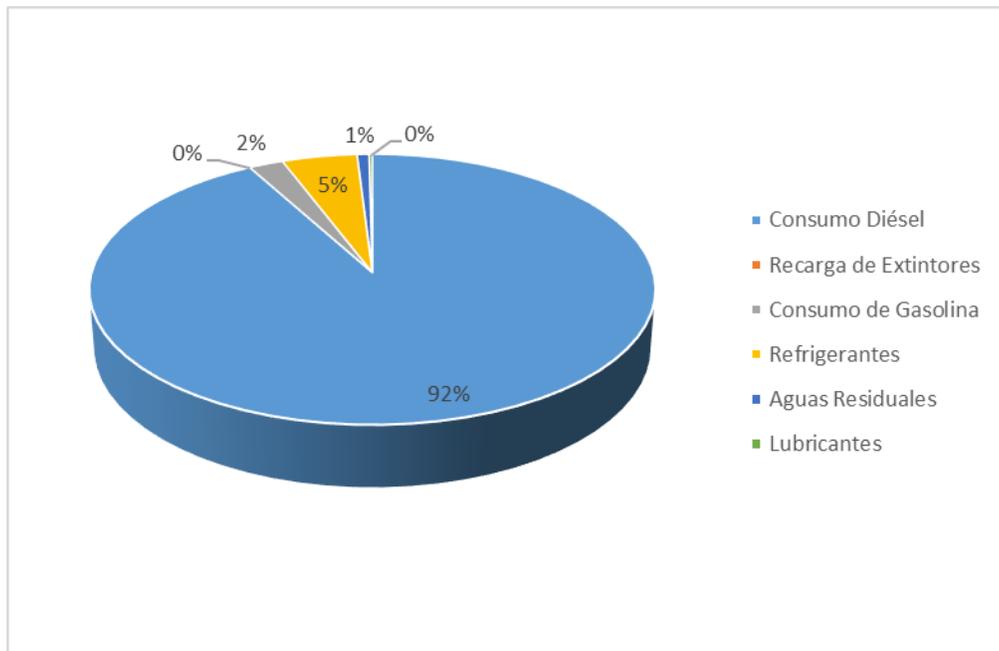


Figura 4.4. Distribución de las emisiones directas de CO<sub>2e</sub> del CSRG.

### 4.1.6 CONSUMO DE ELECTRICIDAD

El uso de la electricidad es fundamental para llevar a cabo gran cantidad de las actividades realizadas en CSRG, con el fin de lograr la explotación de los yacimientos geotérmicos que

están a cargo de este centro perteneciente al ICE. Por lo tanto es necesaria la utilización de gran cantidad de equipos electrónicos, que van desde computadoras hasta sistemas de monitoreo en tiempo real de los pozos productores, hasta la cantidad de vapor que debe ser suministrada a las diferentes plantas para la producción de energía geotérmica.

Las instalaciones donde se ubica el CSRG no realizan pago alguno por la electricidad que se consume, ya que este lugar entrega la materia prima a las plantas geotérmicas (Miravalles I, II, III, IV y Pailas I) para la producción de esta energía, pero como parte de la política ambiental del ICE se cuenta con un medidor de consumo, para establecer por año la cantidad total de electricidad consumida en las instalaciones del CSRG.

Para el periodo 2014 se consumieron un total de 558775 kWh, en la Figura 4.5 se puede observar las emisiones producidas por mes de acuerdo con la cantidad de kWh utilizados, el mes de abril presenta un mayor generación de GEI y; enero la menor tasa de emisión, esto se debe a que en este periodo se da una disminución significativa como consecuencia de las vacaciones de los funcionarios del CSRG. Desde el mes de junio se da una estabilización de las emisiones a hasta el mes de diciembre.

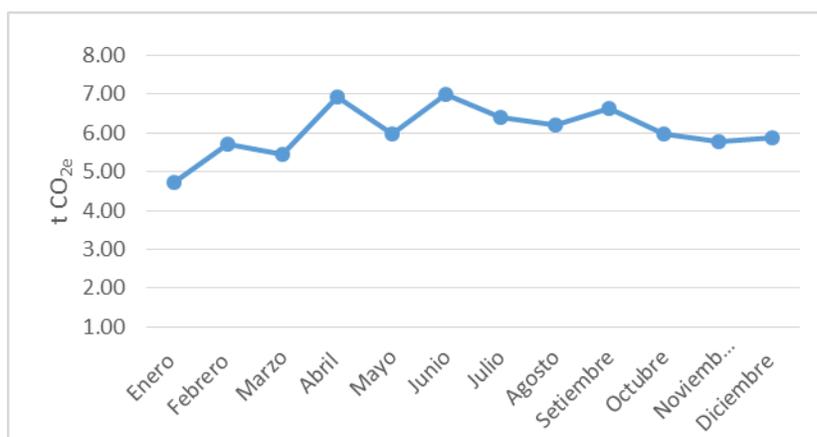


Figura 4.5. Emisiones por consumo de electricidad para el año 2014.

Por lo tanto por motivo de consumo de electricidad se emitieron a la atmosfera en el año 2014 un total de 72,64 t CO<sub>2e</sub>. Cabe destacar que los datos de electricidad son los que se llevan más completos en relación con las demás variables incluidas para llevar a cabo un INGEI, por lo tanto en la Figura 4.6 se puede observar la variación de las cantidades de GEI emitidos a la atmósfera, desde el año 2010 hasta el año 2014.

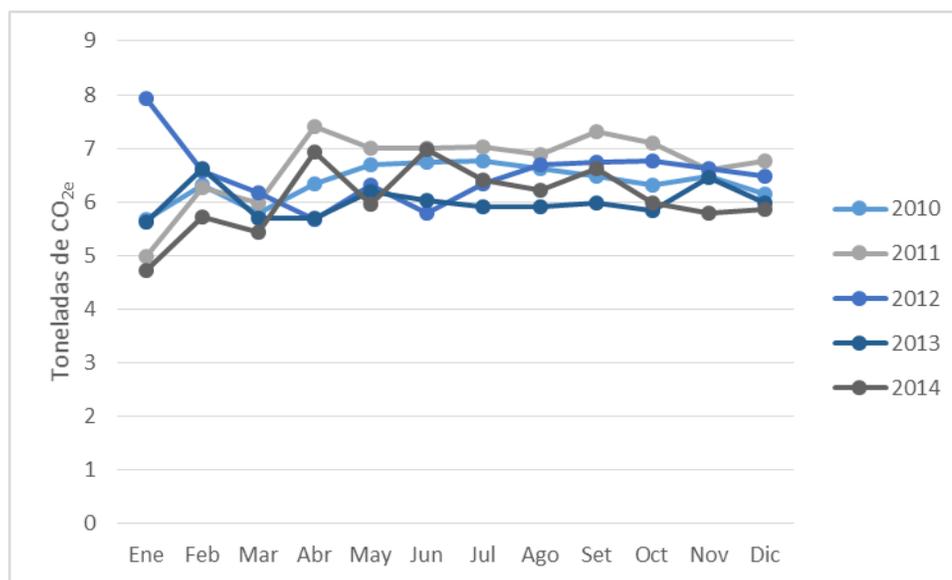


Figura 4.6. Emisiones históricas de electricidad del CSRG

Se puede observar que en los periodos anteriores las emisiones de CO<sub>2e</sub> son similares en los meses de enero y diciembre, asimismo se observa que en los años 2013, 2011 y 2010 a partir del mes de mayo hasta noviembre las t CO<sub>2e</sub> se mantienen constantes y no se dan picos de emisiones como es en el caso del mes de abril en el año 2011.

#### 4.1.7 VIAJES AL EXTERIOR

Según información del área de contabilidad en el 2014 se realizaron solamente 6 viajes con diferentes destinos. En total por concepto de viajes al exterior se emitieron 5,18 t CO<sub>2e</sub> en el Cuadro 4.3 se puede observar el detalle de cada una de las rutas, donde la mayor cantidad de emisiones se produjo en el viaje de Costa Rica a Japón el cual representa un 38,44% del CO<sub>2e</sub> que se liberó a la atmósfera. Las giras a otros países corresponden a actividades de actualización profesional en el área de energías limpias y geotermia, no obstante, algunos de los viajes se realizan con el fin de exponer procedimientos y metodologías desarrolladas en el país en el ámbito de la geotermia que pueden ser aplicadas en otros países con menor desarrollo en esta forma de producción de energía eléctrica.

Cuadro 4.3. Viajes al exterior realizados en el año 2014 en el CSRG

<b>Vuelos</b>	<b>Número de Viajes</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>Porcentaje</b>
Costa Rica - El Salvador - Costa Rica	3	0,44	8,48%
Costa Rica - España - Costa Rica	1	1,70	32,76%
Costa Rica - Panamá-Bolivia- Argentina-Costa Rica	1	1,05	20,23%
Costa Rica -EEUU- Japón -EEUU- Costa Rica	1	1,99	38,34%
<b>Total (Ton CO<sub>2e</sub>)</b>		<b>5,19</b>	

#### 4.1.8 RESIDUOS SÓLIDOS

Como parte de la responsabilidad ambiental del ICE, el cumplimiento de la legislación nacional, el Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos para el tratamiento de los residuos cuenta con un centro de acopio, para el aprovechamiento de los residuos valorizables. En el

año 2014 se dio la producción de 89,07 t de residuos no valorizables que son tomados en cuenta al momento de realizar el INGEI.

Los residuos valorizables no se toman en cuenta en el cálculo de las emisiones producto de los residuos sólidos, ya que se resalta en una doble contabilidad de CO<sub>2</sub>.

La descomposición de los residuos sólidos genera metano por la acción de los microorganismos metanogénicos, por lo que este GEI es el gas que se libera a la atmósfera. Producto de los desechos sólidos para el periodo 2014 se produjeron 0,11 t CO<sub>2e</sub>.

#### 4.2 EXCLUSIONES

La norma INTE-ISO 14064-1 permite realizar exclusión de emisiones de GEI al momento de la cuantificación de un inventario. Si no se desea incluir una fuente es necesario determinar si esta se encuentra dentro o no, de los límites organizacionales y operacionales de la empresa; por lo tanto si no se tiene un control efectivo sobre estas no se pueden tomar en cuenta, ya que no se pueden tomar las decisiones necesarias para lograr una disminución o eliminación de las mismas.

En el caso del CSRG se excluyeron las emisiones producidas por el mantenimiento de las zonas verdes, ya que la actividad es realizada por una empresa subcontratada, es decir, el CSRG solamente compra el servicio, por lo tanto no es responsable de estas emisiones, de igual manera sucede con un lote de vagonetas, excavadoras, compactadores, equipos que se subcontraron para la realización de obras en el Campo Geotérmico Las Pailas.

Cabe destacar que en el proceso de producción de energía geotérmica se da la liberación de gases no condensables, que son llevados en el flujo de vapor que llega a la planta generadora de energía (Massachusetts Institute of Technology, 2006), estos gases se

encuentran almacenados en las profundidades de la tierra producto de diferentes procesos geológicos, se emiten principalmente CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, cuya concentración va a depender de las condiciones geológicas de cada uno de los campos geotérmicos (Goldstein et al., 2011). Se estima que mediante la producción de energía geotérmica, se liberan a la atmosfera aproximadamente 122 g CO<sub>2</sub>/ kWh producido, estos valores pueden variar en rango de 4 a 740 g CO<sub>2</sub>/ kWh dependiendo de las características del campo geotérmico (Bertani & Thain, 2002) .

Los Complejos Geotérmicos Miravalles y Las Pailas para el año 2014 generaron una cantidad total de 1 416 111 080 kWh por lo tanto de acuerdo al dato obtenido de Bertani & Tani (2002) se pudieron haber liberado 158 694,44 t CO<sub>2e</sub> como producto de la generación de energía geotérmica.

La principal razón para llevar a cabo la exclusión de este tipo de emisión del inventario se debe a que en el país no existe información acerca de la cantidad de CO<sub>2</sub> que se libera la atmósfera como consecuencia de la explotación de los recursos geotérmicos, de la misma forma en el INGEI calculado, no se está tomando dentro del alcance del proyecto la producción de electricidad. Asimismo no se puede realizar una generalización acerca de la cantidad de CO<sub>2</sub> que se produce por kWh producido, ya que la emisión de GEI en la producción de energía geotérmica depende de las características químicas del yacimiento geotérmico, la fase líquida del fluido, la temperatura, así como el tipo de planta a utilizar (Plant & Plant, 2012).

Además cabe destacar que no se puede realizar una comparación acerca de los INGEI calculados en otros proyectos geotérmicos alrededor del planeta, ya que en estos inventarios el alcance es diferente, es decir, se realiza el cálculo de las emisiones analizando la fracción de CO<sub>2</sub> no condensable en el flujo de gas utilizado y no se toman en cuenta las actividades previas de los proyectos.

#### 4.3 MANUAL PARA EL CÁLCULO DE INVENTARIOS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En el Apéndice 1 se encuentra el manual elaborado para calcular el INGEI en el CSRG. El proceso de elaboración se realizó bajo los lineamientos de la norma INTE-ISO14064-1, donde se le da énfasis a tres etapas del proceso que son los ejes principales para llevar a cabo la elaboración de un INGEI. Estas etapas son: definición de los límites operacionales y organizacionales, con el fin de definir de la mejor manera el alcance del inventario, en segundo lugar la recolección de los datos y por último la estimación de las emisiones de CO<sub>2e</sub>. Esta guía va dirigida a personas que no poseen conocimiento del tema de cuantificación de GEI. En el manual elaborado posee ejemplos con la finalidad de lograr un mayor entendimiento de los pasos a seguir en la producción de los INGEI, razón por la cual contiene explicaciones de tecnicismos con el objetivo de lograr una mayor entendimiento por parte de los técnicos y así lograr el éxito en futuros inventarios.

Asimismo con el fin de automatizar y simplificar los cálculos asociados a un INGEI, se llevó a cabo la confección de una hoja electrónica en el programa Excel, la cual realiza las operaciones matemáticas necesarias para estimar la cantidad de t CO<sub>2e</sub> que se generan de acuerdo con la fuente de emisión elegida, con el fin de obtener la cantidad total de t CO<sub>2e</sub>

durante un periodo de tiempo establecido, el cual puede ser diario, mensual o anual, según las necesidades del usuario (Apéndice 2)

## 5. CONCLUSIONES

Se definieron los límites organizacionales y operativos del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos, se identificaron 6 fuentes directas y 3 fuentes indirectas de emisión de GEI.

El consumo de diésel representa la mayor cantidad de emisiones de GEI, ya que representa un 90,79% de la totalidad del inventario.

Las emisiones por recarga de extintores, viajes al exterior y residuos sólidos son despreciables, ya que su suma representa menos del 1% del inventario.

Se determinó que el aporte en emisiones de GEI del CSRG Miravalles es de 6115,31 t CO<sub>2e</sub> como resultado de las actividades de exploración, desarrollo y explotación en los campos geotérmicos Miravalles, Pailas y Borinquen.

El manual de referencia elaborado para el cálculo del inventario de GEI para el personal del área de gestión ambiental del CSRG Miravalles les permitirá dar seguimiento al INGEI.

Se excluyen del INGEI las emisiones provocadas por la generación de electricidad, ya que el proceso no es parte de los límites operativos y organizacionales del CSRG Miravalles.

## **6. RECOMENDACIONES**

Realizar el cambio de refrigerante en los equipos de aire acondicionado, migrar al R140a que no forma parte de las sustancias que debilitan la capa de ozono como es el caso del R22.

Implementar una normativa para la utilización de aire acondicionado en la jornada laboral, que establezca horas específicas para la utilización, así como la temperatura adecuada para disminuir el consumo de los equipos.

Colocar a los vehículos GPS con el fin de controlar las rutas utilizadas en los traslados del CSRG Miravalles a los Campos Geotérmicos Pailas y Borinquén con el fin de disminuir el consumo de energía por incumplimiento de las rutas por parte de los choferes.

Implementar programas de capacitación al personal de transportes sobre conducción eficiente, así como en el tema de contaminación atmosférica con la finalidad de que los conductores se familiaricen con los impactos provocados por sus labores.

Creación de una base de datos donde se registren la cantidad de mantenimientos preventivos para los equipos de aire acondicionado y extintores.

Elaboración de un plan de eficiencia energética del CSRG con el fin de disminuir la cantidad de energía que se consume en el plantel.

Realizar un estudio de factibilidad para evaluar la posibilidad de la utilización de tecnologías limpias para algunos de los vehículos utilizados en la institución.

Evaluar la calidad de los sistemas de tanques sépticos con los que cuenta el CSRG con el fin de determinar la calidad del tratamiento de las aguas residuales.

Implementar el cálculo del INGEI como parte de los procesos llevados a cabo por el área de gestión ambiental.

Elaboración del inventario de sumideros del CSRG Miravalles.

Crear una comisión con colaboradores de las diferentes áreas que componen el CSRG para buscar a un mediano plazo la certificación de carbono neutralidad, ya sea para uno de los procesos.

Determinar el porcentaje de CO<sub>2</sub> presente en la corriente de gases no condensables utilizados para la generación de energía geotérmica.

Realizar un estudio de factibilidad para la compra de equipo de monitoreo ambiental de emisiones de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, ya que actualmente solo se determinan las inmisiones de estos compuestos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Amit, R., Jimenez, R., & Vindas, R. (2011). Políticas de cambio climático en Costa Rica , integrando esfuerzos, 154.
- Bertani, R., & Thain, I. (2002). Geothermal Power Generating Plant CO2 Emission Survey. *IGA News*, (49), 1–16.
- BIOMARCC-USAID. (2013). *De Los Sistemas Marino-Costeros*. San José: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza Tropical (CATIE).
- Chacón, A., & Montenegro, J. (2014). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2010*.
- Danfoss. (2009). *La cuenta atrás del R22*. Retrieved from [http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/9FE28E44-F7DB-47DD-B243-92C669FF6965/0/DKRAPE100A105\\_R22\\_Cuentaatras.pdf](http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/9FE28E44-F7DB-47DD-B243-92C669FF6965/0/DKRAPE100A105_R22_Cuentaatras.pdf)
- Dirección de Cambio Climático. (2013). Carbono neutralidad 2021. Retrieved from <http://cambioclimaticocr.com/2012-05-22-19-47-24/empresas-y-organizaciones-hacia-la-carbono-neutralidad-2021>
- Duffield, W. A., & Sass, J. H. (2003). *Geothermal Energy—Clean Power From the Earth's Heat*. Denver.
- Fallas, C., & Rodríguez, J. (2013). *Miravalles Historia del Primer Complejo de Energía Geotérmica en Costa Rica*. (M. Hoffman, Ed.).
- Goldstein, B., Hiriart, G., Bertani, R., Bromley, C., Gutierrez-Negrin, L., Huenges, E., ... Tester, J. (2011). Geothermal Energy. *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, 401–436. Retrieved from [http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_Ch04.pdf](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch04.pdf)
- ICAO. (2014). ICAO Carbon Emissions Calculator Version 2 May 2009 Table of Contents. *ICAO Carbon Emissions Calculator*, (May).
- IMN. (2015). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*. San José.
- INTECO. (2006). *Gases de efecto invernadero - Parte 1: Especificación con orientación a nivel de organización, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*. San José.
- IPCC. (1999). Global Warming Potential. Retrieved October 10, 2015, from <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=71>

- IPCC. (2004). Introducción El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ¿ Por qué se creó el IPCC ? ¿ Como está organizado el IPCC ?
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *Main*, 2(OVERVIEW), 12. [http://doi.org/http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](http://doi.org/http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf)
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. ... de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: ....* <http://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2011). United Nations Framework Convention on Climate Change. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, (February 2011), 1–7. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9388.1992.tb00046.x>
- IPCC. (2013). Cambio climático 2013. Base de ciencia física, 1–2.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014 Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Suiza.
- ISO. (2006). Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse emissions and removals, (506), 1–34.
- Massachusetts Institute of Technology. (2006). Environmental Impacts, Attributes, and Feasibility Criteria. In M. Kubik (Ed.), *The future of Geothermal Energy* (pp. 1–19). Massachusetts: MIT. Retrieved from <papers2://publication/uuid/A6321F50-9E6D-49D4-86F2-59040F147E49>
- MINAE. (2014). *Plan de Acción Estrategia Nacional de Cambio Climático*. San José: Ministerio de Ambiente y Energía.
- MINAE. (2015). *Contribución prevista y determinada a nivel nacional de Costa Rica*. San José.
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Protocolo de Kyoto, 61702*, 20. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- NASA. (2015). Carbon Dioxide. Retrieved October 7, 2015, from <http://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- NASA Earth Observatory. (2015). 2014 Temperature Anomaly. Retrieved August 5, 2015, from [http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=85083&eocon=image&eoci=related\\_image](http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=85083&eocon=image&eoci=related_image)

- Pidcock, R. (2015). Explainer: How do scientists measure global temperature? Retrieved August 6, 2015, from <http://www.carbonbrief.org/blog/2015/01/explainer-how-do-scientists-measure-global-temperature/>
- Plant, J. L. F., & Plant, N. B. (2012). Geothermal Energy and Greenhouse Gas Emissions, (November).
- Solano, H. (2015, July 1). Sequía en Guanacaste es la más fuerte de los últimos 78 años. *1 de Junio*. San José. Retrieved from [http://www.nacion.com/sucesos/Mayo-cerro-patrones-climaticos-registraban\\_0\\_1491050970.html](http://www.nacion.com/sucesos/Mayo-cerro-patrones-climaticos-registraban_0_1491050970.html)
- Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A. S., Blackwell, D. D., & DiPippo, R. (2006). The Future of Geothermal Energy - Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. *MIT - Massachusetts Institute of Technology*, 358. Retrieved from [www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/future\\_geo\\_energy.pdf](http://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/future_geo_energy.pdf)
- U S Environmental Protection Agency. (2015a). Causes of Climate Change. Retrieved October 10, 2015, from <http://www3.epa.gov/climatechange/science/causes.html>
- U S Environmental Protection Agency. (2015b). Climate Change: Basic Information. Retrieved October 10, 2015, from <http://www3.epa.gov/climatechange/basics/>
- U S Environmental Protection Agency. (2015c). *Inventory of U . S . Greenhouse Gas Emissions and Sinks* : Washington: Environmental Protection Agency.
- WWF. (n.d.). Impacts of global warming and climate change. Retrieved October 10, 2015, from [http://www.wwf.org.au/our\\_work/people\\_and\\_the\\_environment/global\\_warming\\_and\\_climate\\_change/impacts/](http://www.wwf.org.au/our_work/people_and_the_environment/global_warming_and_climate_change/impacts/)

## **8. APÉNDICE**

## APÉNDICE 1: MANUAL PARA LA REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

### 1. RESUMEN

Costa Rica ha adquirido el compromiso a nivel mundial de convertirse en el primer país carbono neutral en el año 2100, por lo tanto gran parte de las empresas han empezado a tomar acciones para llevar a cabo este objetivo.

El Instituto Costarricense de Electricidad como parte de su responsabilidad y compromiso con el ambiente desde su inicios ha estado en pro de la protección de los recursos naturales del país, por lo tanto el cálculo de la huella de carbono es una medida que le permite cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricos que se producen de los procesos que se realizan en la institución, al mismo tiempo al conocer el impacto producido al ambiente se pueden implementar medidas para disminuir los efectos sobre el ecosistema, permitiendo a la institución realizar proyectos de calidad en equilibrio con el entorno.

El objetivo principal del presente manual es servir de guía para el cálculo de la INGEI en el Complejo Geotérmico Miravalles, con el fin de buscar la certificación de carbono neutralidad y de este modo cumplir con el Programa País de Carbono Neutralidad para el año 2021. Este instructivo se encuentra basado en las normas ISO 14064-1, INTE 12-04-11, así como en la metodología utilizada por Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

## 2. ABREVIATURAS

**INTECO:** Instituto de Normas Técnicas Costarricenses

**IPCC:** Panel Intergubernamental sobre cambio climático

**INGEI:** Inventario de gases de efecto invernadero

**GEI:** Gases de Efecto Invernadero

**MINAE:** Ministerio de Ambiente y Energía

**NASA:** Agencia Nacional Espacial de Estados Unidos

**PGC:** Potencial de Calentamiento Global

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono

**CO<sub>2e</sub>:** Dióxido de Carbono equivalente

**N<sub>2</sub>O:** Óxido de Nitrógeno

**CH<sub>4</sub>:** Metano

**CFC:** Clorofluorocarbonos

**PFC:** Perfluorocarbonos

**SF<sub>6</sub>:** Hexafluoruro de azufre

**kg:** unidad de masa, kilogramos

**t:** unidad de masa, toneladas

**l:** unidad de volumen, litros

### **3. ASPECTOS GENERALES**

#### **3.1 TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

##### **3.1.1 Calentamiento Global**

Es el aumento de la temperatura media de la tierra y los océanos producto del aumento de la concentración de gases como el dióxido de carbono causado por efectos tanto naturales como causados por el ser humano (IPCC, 2011)

##### **3.1.2 Cambio climático**

Cambio en las condiciones del clima atribuidos directo o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial, que provoca cambios en los patrones normales del clima que se han observado por periodos de tiempo comparables (IPCC, 2011)

##### **3.1.3 Gases de efecto invernadero**

Gas que absorbe radiación solar infrarroja que causa un aumento en la temperatura media de la atmosfera terrestre (U S Environmental Protection Agency, 2015). Los principales gases de efecto invernadero son: CO<sub>2</sub> que se destaca como el principal GEI ya que su concentración ha aumentado en los últimos año por causa de las actividades humanas, CH<sub>4</sub> producido por la descomposición de la materia orgánica y con una mayor capacidad de absorber radiación infrarroja, N<sub>2</sub>O gas que se genera por la utilización de agroquímicos en los suelos agrícolas y por último los CFC, PFC, SF<sub>6</sub> gases que poseen diferentes usos industriales tales como el uso como refrigerantes, aerosoles y aislantes térmicos (IPCC, 2013)

##### **3.1.4 Potencial de Calentamiento Global**

Factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado (ISO, 2006)

#### **3.1.5 Factores de Emisión**

Factor que relaciona datos de una actividad con las emisiones de GEI (ISO, 2006)

#### **3.1.6 Inventario de Gases de Efecto Invernadero**

Es la identificación de fuentes de emisión y sumideros de GEI, así como la cuantificación de emisiones y remociones de GEI de una organización (INTECO, 2006)

#### **3.1.7 Año base**

Periodo histórico especificado, para propósitos de comparar emisiones o remociones de GEI u otra información relacionada con los GEI en un periodo de tiempo (INTECO, 2006)

#### **3.1.8 Fuente de GEI**

Unidad o proceso físico que libera un GEI a la atmosfera (ISO, 2006)

#### **3.1.9 Emisiones directas, indirectas y otras indirectas**

Las emisiones se clasifican en tres tipos:

Cuadro A.1. 1. Clasificación de las emisiones. Fuente (INTECO, 2006)

Directas	Indirectas	Otras indirectas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Emisiones que ocurren en las instalaciones, de actividades dentro de los límites de la organización.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emisiones indirectas de GEI que provienen de la generación de electricidad, calor o vapor de origen externo, consumido por la organización</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emisiones que ocurren fuera del límite de la organización y que están relacionadas en alguna forma a las actividades dentro de los límites de la organización.</li></ul>

### 3.1.10 Sumidero de GEI

Actividad, proceso o mecanismo que remueve GEI, así como aerosoles o precursores de GEI de la atmosfera (U S Environmental Protection Agency, 2015b)

## 3.2 NORMA INTE-ISO 14064-1

La Norma INTE-ISO 14064-1 detalla los principios y requisitos para el diseño, desarrollo y gestión de inventarios de GEI para compañías y organizaciones, así como los lineamientos para la elaboración y presentación de los informes sobre estos inventarios (INTECO, 2006).

Para llevar a cabo un inventario de GEI es necesario realizar el siguiente procedimiento:



Figura A.1. 1. Metodología para la elaboración de un inventario de GEI. Fuente: (INTECO, 2006)

#### 4. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE GEI

##### 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LÍMITES OPERACIONALES

Las instituciones están compuestas por gran cantidad de departamentos, áreas y divisiones en su estructura interna como consecuencia de las actividades realizadas, es por ello que al momento de realizar el cálculo de las emisiones dióxido de carbono es importante delimitar el alcance o área que se incluirá, es decir, el número de instalaciones que serán parte de la determinación de la huella de carbono, según la Norma ISO 14064-1, se establecen dos tipos de límites organizacionales:

- **Límites de Control Operacional:** Corresponden a las emisiones de las cuales la institución u organización tienen control operativo o control financiero. Cabe destacar

que el control operacional corresponde a todas aquellas actividades realizadas en las instalaciones de las cuales la institución u organización tenga control sobre estas. El control financiero corresponde a la capacidad que tenga la empresa de dirigir políticas financieras y operacionales con el objetivo de obtener un beneficio económico.

- **Límites de Cuota o participación correspondiente:** Corresponde a todas aquellas emisiones específicas a las que responda la institución u organización en las instalaciones.

### **EJEMPLO:**

Soluciones Energéticas es una compañía de capital extranjera que se encuentra desarrollando proyectos de energía geotérmica en la Zona Norte del país, esta empresa posee un plantel central ubicado en Florencia de San Carlos donde se encuentran los departamentos de Gestión Administrativa, Transportes, Mantenimiento, Perforación, Geología y Estudios Hidrogeológicos, así como el comedor de la institución y un campamento para los trabajadores. Además se cuenta con dos perforadoras instaladas en el Campo Geotérmico San Carlos. Como parte del compromiso ambiental de la compañía se decide realizar un inventario de GEI.

Dentro del alcance del inventario de GEI a realizar es necesario incluir tanto los departamentos que se encuentran en el plantel como las perforadoras del campo geotérmico, es decir; se deben aplicar límites de control operacional, ya que la empresa controla a todos los procesos de exploración, desarrollo y explotación del Campo Geotérmico San Carlos, cabe destacar que no se incluyen las actividades de limpieza de oficinas y zonas verdes, ya que estos servicios son contratados a la empresa ALASA S.A., por lo tanto el Soluciones Energéticas no tiene injerencia en estos procesos.

## **4.2 IDENTIFICACIÓN DE LÍMITES OPERATIVOS**

Es necesario que la institución establezca y documente sus límites operativos, esto con el fin de lograr la identificación, clasificación de las emisiones producidas como consecuencia de las operaciones realizadas por la organización. Para realizar identificación de las emisiones se lleva a cabo realizando un análisis de cada uno de los procesos que se llevan a cabo en la organización, para determinar en cuales partes del proceso se generan gases de efecto invernadero y así poder cuantificar las toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberadas a la atmosfera. Por lo tanto es necesario la clasificación de las emisiones en directas, indirectas u otras indirectas, cabe destacar que las este tipo de emisión se pueden descartar del inventario.

### **EJEMPLO:**

La compañía soluciones energéticas debe realizar una identificación de las fuentes de emisión y clasificarlas de acuerdo al tipo:

Directas	Indirectas	Otras indirectas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de diesel</li> <li>• Consumo de gasolina</li> <li>• Recarga de extintores</li> <li>• Uso de lubricantes</li> <li>• Generación de Aguas Residuales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de electricidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos Sólidos</li> </ul>

Figura A.1. 2. Clasificación de las emisiones de GEI de acuerdo a los límites operativos

### 4.3 ELECCIÓN DEL AÑO BASE

La Norma INTE-ISO 14064-1 establece que el año base para el cálculo del inventario debe ser el año en el cual se obtengan la mayor cantidad de datos para la realización del inventario; se puede elegir un año calendario o un año fiscal para establecer la base del inventario. Si es la primera vez que se realiza el inventario, se pueden presentar los datos obtenidos como año base.

#### **EJEMPLO:**

El sistema contable de la empresa Soluciones Energéticas se basa en un año fiscal, razón por la cual la compañía ha elegido el periodo fiscal 2013 como base de su inventario, ya que es del que se poseen más datos de compras y consumo de insumos para llevar a cabo sus labores.

#### **4.4 SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN**

Para llevar a cabo la cuantificación de las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> que se producen en la organización se debe seleccionar y utilizar metodologías que disminuyan la incertidumbre, produzcan resultados exactos, coherentes y reproducibles (INTECO, 2006).

Se pueden encontrar dos tipos de metodologías; directas e indirectas. La cuantificación de emisiones mediante el método directo consiste en la utilización de modelos o enfoque basados en balances de masas o bien se pueden llevar a cabo mediante la medición continuo o intermitente de los gases que son precursores del efecto invernadero. El primer método indirecto consiste en la realización de cálculos, donde la donde los datos (litros de combustible utilizados por mes, por ejemplo) que se tienen de cada una de las actividades que emiten GEI son multiplicados por factores de emisión o remoción de GEI, obteniendo la cantidad total de emisiones de CO<sub>2</sub> por cada actividad. Cabe destacar que se puede dar una combinación entre la metodología directa e indirecta (INTECO, 2006).

Cuando se defina la metodología a aplicar al inventario de GEI de la organización, se debe explicar las razones por la cuales se dio la elección de dicha metodología, asimismo si existe un cambio en ésta se debe especificar qué fue lo que llevo a la institución a cambiar de opinión. Además la selección y recopilación de datos debe ser congruente con el procedimiento de cuantificación elegida.

#### **EJEMPLO:**

La empresa al no poseer instrumentos para la medición automática (equipos que registran la cantidad de toneladas de GEI liberadas por hora o día, según sea el caso) de las emisiones

de GEI decide utilizar la metodología indirecta, basada en la multiplicación de los datos obtenidos por actividad por los factores de emisión.

#### **4.5 SELECCIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS**

La utilización de los datos de acuerdo con las actividades debe ser coherente con la metodología de cuantificación elegida. Los datos de consumo de combustible, diésel, así como uso de lubricantes necesitan el dato de la cantidad total utilizada en el año base del inventario.

En el caso de las emisiones que se generan por fugas de gas, como los extintores y el refrigerante de los equipos de aire acondicionado, la información se obtiene a partir de la recarga de los equipos.

La contabilización de las emisiones como resultado del consumo de energía se debe cuantificar de acuerdo con la cantidad de energía requerida ya sea electricidad, vapor o calor consumido por la empresa.

Es necesaria la implementación dentro de las organizaciones de un sistema de registro de todos los insumos necesarios para todas las actividades con el fin de facilitar la recolección de los datos y la disminución del error asociado.

#### **EJEMPLO**

La compañía eléctrica utilizó los registros del sistema de gestión contable, el cual registra la cantidad de compras hechas por año, así como la cantidad que se compró de cada uno de los productos necesarios para llevar a cabo las actividades de la empresa. Al ser datos generados por un sistema contable, se logra una disminución considerable del error al momento de realizar el cálculo del inventario.

Cuadro A.1. 2. Consumos anuales para cada una de las fuentes de emisión.

<b>Fuente</b>	<b>Dato</b>
Consumo de Diésel	2 345 l
Consumo de Gasolina	35 75 l
Recarga de Extintores	25 lb
Uso de Lubricantes	400 l
Generación de Aguas Residuales	500 personas
Consumo de Electricidad	45 678 kWh
Residuos Sólidos	650 t

#### **4.6 SELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN O REMOCIÓN**

En el caso de la elección del cálculo de la huella de carbono mediante la utilización de factores de emisión, la Norma INTE-ISO 14064-1 establece que las organizaciones deben seleccionar o desarrollar factores de emisión y remoción de GEI que cumplan con las siguientes características:

- Se deriven de un origen conocido
- Sean apropiados para las fuentes y sumideros de GEI involucrados
- Estén actualizados en el momento de la cuantificación
- Tengan en cuenta la incertidumbre de la cuantificación y se calculen de forma que produzcan resultados exactos y reproducibles
- Sean coherentes con el uso previsto del inventario de GEI

Es necesario explicar el porqué de la elección de los factores de emisión o remoción, cabe destacar que en Costa Rica el Instituto Meteorológico Nacional posee factores para el país, en caso de que alguna actividad no posea un factor de emisión, se pueden utilizar de los factores de emisión del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)

**EJEMPLO:**

Soluciones Energéticas decide utilizar los factores de emisión desarrollados por el Instituto Meteorológico Nacional que se describen a continuación:

Cuadro A.1. 3. Factores de emisión. Fuente:(IMN, 2015)

Fuente	Factor de emisión		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Consumo de Diésel	2,69 kg / l	0,1089 kg/ l	0,02178 kg /l
Consumo de Gasolina	2,26 kg/ l	0,8162 kg/l	0,2612 kg / l
Recarga de Extintores	1 kg	-	-
Uso de Lubricantes	0,5101 kg / l	-	-
Generación de Aguas Residuales	-	4,38 kg / persona por año	-
Consumo de Electricidad	0,1170 kg / kWh	-	-
Residuos Sólidos	-	0,0581 kg/ l	-

## 4.7 CÁLCULO DE EMISIONES O REMOCIONES

El cálculo de las emisiones y remociones debe ser coherente con la metodología de cuantificación seleccionada. Por lo tanto para determinar las emisiones por factores de emisión se deben seguir el siguiente procedimiento.

1. **Cálculo de las toneladas de GEI:** Se obtienen la cantidad de GEI liberado de acuerdo a partir del dato que se obtuvo de la actividad, ya sea en masa o volumen. Se debe aplicar la siguiente fórmula

**Toneladas de GEI:** Dato de la actividad x factor de emisión

**Nota: Se deben tomar en cuenta todos los factores de conversión necesarios para lograr la obtención de los datos en toneladas**

2. **Cálculo de las toneladas de CO<sub>2e</sub>:** Se realiza con el fin de lograr la unificación de todos los GEI contabilizados para tenerlos en la misma unidad, para poder sumarlos y obtener la cantidad total de toneladas de CO<sub>2e</sub> que se producen como consecuencia de las actividades realizadas

**Toneladas de CO<sub>2e</sub> = Toneladas de GEI x Potencial de Calentamiento Global**

La Norma permite realizar exclusiones de algunas de las emisiones del inventario, si estas representan menos del 3 % del total del inventario o un porcentaje menor dependiendo del error definido previamente por la organización, ya que la contribución de estas al inventario es despreciable o también a aquellas emisiones que su cuantificación no sería técnicamente viable ni rentable (INTECO, 2006)

Cuadro A.1. 4. Potenciales de calentamiento global. Fuente:(IMN, 2015)

<b>GEI</b>	<b>Potencial de calentamiento global</b>
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
R140a	1725

### **EJEMPLO**

Para calcular la cantidad de emisiones producto del consumo de gasolina 3575 l (ver Cuadro A.1.4) se obtienen el valor aplicando las siguientes fórmulas para cada uno de los GEI generados:

#### **1. Toneladas de GEI**

**Toneladas de GEI:** Dato de la actividad x factor de emisión

$$\text{Toneladas de CO}_2 = 2345 \text{ L} \times 2,26 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}}$$

$$\text{Toneladas de CO}_2 = 8,08 \text{ t}$$

$$\text{Toneladas de CH}_4 = 2345 \text{ L} \times 0,8162 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{l}}$$

$$\text{Toneladas de CH}_4 = 2,92 \text{ t}$$

$$\text{Toneladas de N}_2\text{O} = 2345 \text{ L} \times 0,2612 \frac{\text{kg N}_2\text{O}}{1}$$

$$\text{Toneladas de N}_2\text{O} = 0,93 \text{ t}$$

## 2. Toneladas de CO<sub>2e</sub>

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = \text{Toneladas de GEI} \times \text{Potencial de Calentamiento Global}$$

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = 8,80 \text{ t CO}_2 \times 1$$

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = 8,80 \text{ t}$$

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = 2,92 \text{ t CH}_4 \times 21$$

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = 61,32 \text{ t}$$

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = 0,93 \text{ t N}_2\text{O} \times 310$$

$$\text{Toneladas de CO}_{2e} = 288,30 \text{ t}$$

Aplicando las fórmulas utilizadas en los puntos 1 y 2 de la Sección 4.7 se obtienen los siguientes resultados

Cuadro A.1. 5. Toneladas totales de CO2e de la compañía Soluciones Energéticas.

<b>Fuente</b>	<b>Dato</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2e</sub></b>
Consumo de Gasolina	3575,00	8,08	2,92	0,93	358,83
Consumo de Diesel	2345,00	6,31	0,26	0,05	27,50
Recarga de Extintores	25,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Uso de Lubricantes	400,00	0,20	0,00	0,00	0,20
Generación de Aguas Residuales	500,00	0,00	2,19	0,00	45,99
Refrigerantes	32,00	55,2	0,00	0,00	55,20
Consumo de Electricidad	45678,00	5,34	0,00	0,00	5,34
Residuos Sólidos	650,00	0,00	37,76	0,00	792,96
<b>Total</b>		<b>75,15</b>	<b>43,12</b>	<b>0,98</b>	<b>1286,03</b>

#### **4.8 ACCIONES DIRIGIDAS PARA DISMINUIR GEI O AUMENTAR CAPACIDAD DE REMOCIÓN**

La norma establece que las organizaciones pueden realizar acciones dirigidas para lograr la disminución de las emisiones de GEI, para poder implementar una acción dirigida según la Norma INTE-ISO 14064-1 es necesario describir:

- La acción dirigida
- Límites espaciales y temporales de la acción dirigida
- Enfoque empleado para la cuantificar las diferencias de emisiones o remociones de GEI
- Determinación y clasificación de las diferencias de emisiones o remociones de GEI atribuirles como dirigidas

Algunas de las acciones dirigidas pueden ser:

- Plan de eficiencia energética
- Demanda de energía y gestión de uso
- Aforestación
- Sustitución o alternancia de combustibles

#### **4.9 ELABORACIÓN DEL INFORME DEL INVENTARIO DE GEI**

Es necesario que la organización elabore un informe de GEI para facilitar la verificación del inventario de GEI, la participación en un programa de GEI, o para informar a los usuarios internos y externos. Los informes de GEI deberán ser completos, coherentes, precisos, pertinentes y transparentes (INTECO, 2006).

Las secciones que debe incluir un informe del inventario de GEI son:

- a. Descripción de la organización
- b. Persona responsable
- c. Periodo que cubre el informe
- d. Documentación de los límites organizacionales
- e. Emisiones directas de cada GEI en toneladas de CO<sub>2e</sub>
- f. Remociones de GEI en toneladas de CO<sub>2e</sub>
- g. Exclusiones de fuentes y sumideros
- h. Emisiones indirectas por electricidad en toneladas de CO<sub>2e</sub>
- i. Año base
- j. Metodología de cuantificación
- k. Factores de emisión y remoción
- l. Descripción del impacto de las incertidumbres
- m. Declaración de que el inventario de GEI se realizó según la Norma INTEISO 14064-1
- n. Declaración de verificación y nivel de aseguramiento

## APÉNDICE 2: HERRAMIENTA PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL INGEI

Cuadro A.2. 1. Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por consumo de electricidad mediante el programa Excel

<b>Fuente</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/kWh</b>	<b>IMN Edición 5/2015</b>
<b>Uso Electricidad</b>	0,13	

<b>Sitio</b>	<b>Mes</b>	<b>kWh</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>
<b>Centro de Recursos Geotérmicos</b>	Enero	36400	4,73
	Febrero	43925	5,71
	Marzo	41825	5,44
	Abril	53375	6,94
	Mayo	45850	5,96
	Junio	53725	6,98
	Julio	49350	6,42
	Agosto	47775	6,21
	Setiembre	50925	6,62
	Octubre	46025	5,98
	Noviembre	44450	5,78
	Diciembre	45150	5,87
<b>Total</b>			<b>72,64</b>

Cuadro A.2. 2. . Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por consumo de diésel de la flotilla vehicular, mediante el programa Excel

Factor de emisión				
Fuente	CH <sub>4</sub> kg/l	N <sub>2</sub> O kg/l	kg CO <sub>2</sub> /l	IMN Edición 5/2015
Diésel (Transporte terrestre/sin catalizador)	0,0001416	0,0001416	2,69	

Potencial de Calentamiento Global		
CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
1	21	310

Sitio	Mes	Consumo (litros)	Toneladas de GEI			
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2e</sub>
Flotilla vehicular	Enero	15631,751	42,05	0,05	0,69	42,78
	Febrero	19128,399	51,46	0,06	0,84	52,35
	Marzo	19393,03	52,17	0,06	0,85	53,08
	Abril	17245,387	46,39	0,05	0,76	47,20
	Mayo	18479,699	49,71	0,05	0,81	50,58
	Junio	17516,262	47,12	0,05	0,77	47,94
	Julio	18003,822	48,43	0,05	0,79	49,27
	Agosto	16391,262	44,09	0,05	0,72	44,86
	Setiembre	19187,091	51,61	0,06	0,84	52,51
	Octubre	20715,429	55,72	0,06	0,91	56,70
	Noviembre	21088,677	56,73	0,06	0,93	57,72
	Diciembre	12594,716	33,88	0,04	0,55	34,47
	<b>Total</b>					<b>589,45</b>

Cuadro A.2. 3. Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por consumo de diésel de perforación, mediante el programa Excel

Factor de emisión				IMN Edición 5/2015	Potencial de Calentamiento Global		
Fuente	CH <sub>4</sub> kg/l	N <sub>2</sub> O kg/l	kg CO <sub>2</sub> /l		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Diesel	0,0001089	0,00002178	2,69		1	21	310

Sitio	Mes	Consumo (litros)	Toneladas de GEI			
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2e</sub>
Perforación	Enero	123369	331,86	0,28	0,83	332,98
	Febrero	52141	140,26	0,12	0,35	140,73
	Marzo	162661	437,56	0,37	1,10	439,03
	Abril	141204	379,84	0,32	0,95	381,12
	Mayo	216575	582,59	0,50	1,46	584,54
	Junio	182072	489,77	0,42	1,23	491,42
	Julio	174897	470,47	0,40	1,18	472,05
	Agosto	170414	458,41	0,39	1,15	459,95
	Setiembre	160723	432,34	0,37	1,09	433,80
	Octubre	137452	369,75	0,31	0,93	370,99
	Noviembre	207257	557,52	0,47	1,40	559,39
	Diciembre	109894	295,61	0,25	0,74	296,61
				<b>TOTAL</b>		

Cuadro A.2. 4. Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por producción de aguas residuales, mediante el programa Excel

<b>Fuente</b>	<b>CH<sub>4</sub> kg/persona</b>	<b>IMN Edición 5/2015</b>
<b>Tanques sépticos</b>	4,38	

<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>Potencial de calentamiento global</b>
21	

<b>Fuente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>t CH<sub>4</sub></b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>
Personal	507	2,22	46,63

Cuadro A.2. 5. Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por producción de residuos sólidos, mediante el programa Excel

<b>Fuente</b>	<b>CH<sub>4</sub> kg/l</b>	<b>IMN Edición 5/2015</b>
<b>Residuos Sólidos</b>	0,0581	

<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>Potencial de calentamiento global</b>
21	

<b>Fuente</b>	<b>Cantidad (t)</b>	<b>t CH<sub>4</sub></b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>
Residuos Sólidos	89,08	0,00517537	0,11

Cuadro A.2. 6. Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por el consumo de refrigerantes, mediante el programa Excel

<b>Fuente</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>PCG</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>
R-22	121,4	1790	217,31
R-140a	43,093	1725	74,34
		<b>Total</b>	<b>291,64</b>

Cuadro A.2. 7. . Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por recarga de extintores, mediante el programa Excel

<b>Fuente</b>	<b>Potencial de Calentamiento Global</b>	<b>IMN Edición 5/2015</b>
<b>Dióxido de Carbono</b>	1	

<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad (lb)</b>	<b>Capacidad total</b>	<b>kg CO<sub>2e</sub></b>
Amarex	5	10	50	22,68
Amarex	3	5	15	6,80
Badger	19	10	190	86,18
Badger	3	5	15	6,80
Badger	6	15	90	40,82
Buckeye	22	10	220	99,79
Buckeye	3	5	15	6,80
Buckeye	1	15	15	6,80
Chino	2	10	20	9,07
Chino	1	5	5	2,27
Kidde	1	15	15	6,80
<b>Total</b>			<b>kg</b>	<b>294,84</b>
			<b>t</b>	<b>0,29</b>

Cuadro A.2. 8. Herramienta para el cálculo de las emisiones de GEI por consumo de lubricantes, mediante el programa Excel

<b>Fuente</b>	<b>CO<sub>2</sub> kg/t</b>	<b>IMN Edición 5/2015</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Potencial de calentamiento global</b>
<b>Lubricantes</b>	0,5101		1	

<b>Fuente</b>	<b>Litros</b>	<b>t CO<sub>2</sub></b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>
Lubricantes	24920,93	12,71	12,71