



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO  
(GEI) EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**

**Iris Alejandra Salazar Cruz**

Asesorado por el Ing. MSc. Gabriel Antonio Chavarría Matus

Guatemala, enero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO  
(GEI) EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**IRIS ALEJANDRA SALAZAR CRUZ**

ASESORADO POR EL ING. MSC. GABRIEL ANTONIO CHAVARRÍA MATUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

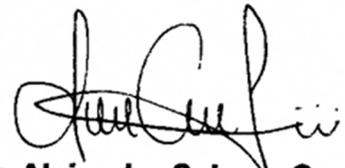
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Telma Maricela Cano Morales
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León Morales
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha agosto de 2012.



**Iris Alejandra Salazar Cruz**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 31 de agosto de 2012  
 Ref. EI.Q.TG-DI.054.2012

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
 DIRECTOR  
 Escuela de Ingeniería Química  
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-039-2012-DI le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
 -Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Iris Alejandra Salazar Cruz**

Identificada con número de carné: **2003-12709**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)  
 EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Químico: **Gabriel Chavarría**.

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
 Ing. Jorge Emilio Godínez  
 COORDINADOR DE TERNA  
 Tribunal de Revisión  
 Trabajo de Graduación

  
 ESCUELA DE  
 INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
 ACREDITADO POR  
 Agencia Centroamericana de Acreditación de  
 Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
 Periodo 2009 - 2012

  
 ACAAI

Guatemala, 16 de agosto de 2013

Ingeniero Víctor Manuel Monzón  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Monzón:

Me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que estoy asesorando a la estudiante IRIS ALEJANDRA SALAZAR CRUZ en su proyecto "ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACION". Por lo tanto, hago constar que apruebo el informe final del trabajo de graduación que la estudiante elaboró.

Agradezco la atención prestada a la presente y sin otro particular me despido de usted.

Atentamente,



Ing. Gabriel Chavarría Matus

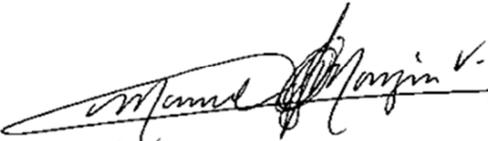
Colegiado No. 889

GABRIEL CHAVARRIA MATUS  
INGENIERO QUIMICO  
COLEGIADO No. 889

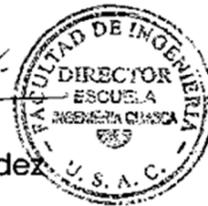


Ref.EIQ.TG.001.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **IRIS ALEJANDRA SALAZAR CRUZ** titulado: "**ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, enero 2014

Cc: Archivo  
VMMV/ale



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 024.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EMITIDOS POR UNA EMPRESA DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN**, presentado por la estudiante universitaria **Iris Alejandra Salazar Cruz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olympo Ruz   
Decano 

Guatemala, 24 de enero de 2014

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** A quien doy toda la gloria por éste éxito. Por ser mi creador y salvador, quien me dio todo lo necesario y aún más.
- Mis padres** Aurelio Salazar y Consuelo de Salazar. Quienes se esforzaron y me dieron su apoyo e inspirador ejemplo. Que me aman y dedican su vida a formarme y hacer que sea una mejor persona.
- Mis hermanos** Andrea, Emilio y Gabriela Salazar. Amigos incondicionales que siempre están cerca de mí y hacen mi vida más interesante y feliz. Quienes me brindan su ayuda, compañía y amor.
- Mi novio** Orlando Cotto. Mi mejor amigo y mi inspiración, quien complementa mi vida con alegría y amor. El mejor regalo que Dios me dio.
- Mis amigos** Que me dan su cariño y apoyo y le agregan diversión a mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por no abandonarme jamás. Por ser mi razón de vivir. Porque todos sus planes para mi vida son maravillosos, por salvarme y amarme sin merecerlo
<b>Mi familia</b>	Por darme las armas necesarias para afrontar la vida, por su apoyo y amor incondicionales. Por guiarme en el mejor camino.
<b>Mi novio</b>	Por fortalecer mi vida con su amor y alentarme siempre a alcanzar mis metas. Por estar junto a mí en cualquier situación.
<b>Mis amigos</b>	Por sus oraciones y las innumerables veces que me ayudaron.
<b>Mi iglesia Luz y Vida</b>	Por ser mi gran familia, ejemplo, apoyo y mi segundo hogar.
<b>Mis asesores</b>	Ing. Gabriel Chavarría e Ing. Rolando Peláez. Por el tiempo, la paciencia, la ayuda y la confianza que me ofrecieron; aprendí mucho de ustedes.

**Inga. Rossalyn Mcleod  
y Roberto Tucubal**

Por todo el tiempo y esfuerzo que dedicaron a ayudare con la realización de este trabajo. Sin su apoyo me habría sido muy difícil el proceso.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ofrecerme el lugar y las herramientas que necesitaba para alcanzar mis metas y desarrollarme personal y profesionalmente. Que Dios bendiga a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. La atmósfera terrestre y su composición.....	5
2.2. Equilibrio energético de la Tierra (efecto invernadero).....	6
2.3. Contaminación atmosférica.....	7
2.3.1. Contaminantes primarios y secundarios .....	8
2.4. Gases de efecto invernadero (GEI).....	9
2.4.1. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	10
2.4.2. Metano (CH <sub>4</sub> ) .....	12
2.4.3. Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) .....	13
2.4.4. Gases fluorados .....	14
2.5. Fuentes de GEI .....	15
2.5.1. Fuentes naturales.....	16
2.5.2. Fuentes antropogénicas.....	18
2.5.2.1. Quema de combustibles fósiles.....	18
2.5.2.2. Producción de energía eléctrica.....	20
2.5.2.3. Refrigerantes.....	21

	2.5.2.4.	Desechos sólidos de hogares y negocios.....	23
2.6.		Cambio climático .....	24
	2.6.1.	Indicadores del cambio climático .....	24
2.7.		Importancia de la cuantificación de GEI.....	26
	2.7.1.	Reporte de emisiones como CO <sub>2</sub> eq.....	27
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
	3.1.	Variable.....	29
	3.2.	Delimitación de campo de estudios .....	33
	3.3.	Recursos humanos disponibles .....	33
	3.4.	Recursos materiales disponibles .....	33
	3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa .....	34
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	34
	3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	38
	3.7.1.	Procesamiento de la información.....	38
		3.7.1.1. Masa de GEI por combustión fija o estacionaria .....	39
		3.7.1.2. Masa de GEI por combustión móvil....	40
		3.7.1.3. Distancia recorrida .....	40
		3.7.1.4. Tipo de transporte y combustible.....	41
		3.7.1.5. Masa de GEI debido al uso de energía eléctrica .....	41
		3.7.1.6. Masa de GEI por uso de refrigerantes. ....	42
		3.7.1.6.1. Por manufactura y almacenamiento de equipos .....	42

	3.7.1.6.2.	Por uso de A/C.....	42
	3.7.1.7.	Emisiones de CO <sub>2</sub> eq.....	43
	3.7.2.	Tabulación de la información.....	43
4.	RESULTADOS .....		47
4.1.	Emisiones anuales de GEI por fuente de emisión.....		47
4.2.	Emisiones anuales de CO <sub>2</sub> eq a nivel global de la empresa .....		52
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		57
CONCLUSIONES.....			63
RECOMENDACIONES.....			65
BIBLIOGRAFÍA.....			67
APÉNDICES .....			69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Flujograma del proceso.....	37
2.	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por combustibles, en combustión estacionaria.....	48
3.	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por combustibles en combustión móvil.....	49
4.	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por uso de energía eléctrica .....	50
5.	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por refrigerantes en manufactura y almacenamiento de equipo.....	51
6.	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> eq por refrigerantes, en aire acondicionado.....	52
7.	Porcentaje de masa global de CO <sub>2</sub> eq por fuente de emisión.....	53
8.	Porcentaje de emisión por fuentes directas .....	54
9.	Porcentaje de emisión por fuentes indirectas.....	55

### TABLAS

I.	Variables utilizadas en la estimación de la cantidad de masa de GEI por combustión fija (maquinaria).....	30
II.	Variables utilizadas en la estimación de la cantidad de masa de GEI por combustión móvil (vehículos) .....	30
III.	Variables utilizadas en la estimación de la cantidad de masa de GEI por uso de electricidad.....	31

IV.	Variables utilizadas en la estimación de la cantidad de masa de GEI por refrigerantes.....	32
V.	Fuentes de emisión de GEI por área.....	35
VI.	Factores de emisión de GEI por combustibles.....	44
VII.	Factores de emisión de GEI por combustión móvil.....	44
VIII.	Factores de emisión de GEI por electricidad.....	45
IX.	GWP de gases de efecto invernadero.....	45
X.	Emisiones anuales de GEI por combustión fija o estacionaria.....	47
XI.	Emisiones anuales de GEI por combustión móvil (transporte).....	48
XII.	Emisiones anuales de GEI por uso de electricidad.....	49
XIII.	Emisiones anuales de refrigerantes por manufactura y almacenamiento de equipos.....	50
XIV.	Emisiones anuales de refrigerantes por uso de aire acondicionado.....	51
XV.	Emisión total de CO <sub>2</sub> eq del año 2011 de la empresa.....	52
XVI.	Emisiones por fuentes directas.....	53
XVII.	Emisiones por fuentes indirectas.....	54

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A/C</b>	Aire acondicionado
<b>Co</b>	Carga inicial de refrigerante en equipo de A/C
<b>Ec</b>	Energía eléctrica consumida
<b>FE</b>	Factor de emisión
<b>Fv</b>	Frecuencia de viajes
<b>gal</b>	Galones
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>Kwh</b>	Kilovatios-hora
<b>L</b>	Longitud
<b>m</b>	Masa

<b>NE</b>	Número de empleados
<b>U</b>	Número de unidades iguales
<b>GWP</b>	Potencial de calentamiento global
<b>TF</b>	Tasa anual de fuga
<b>T</b>	Tiempo
<b>ton</b>	Toneladas
<b>V</b>	Volumen

## GLOSARIO

<b>Antropogénico</b>	De origen humano.
<b>Atmósfera</b>	Masa gaseosa que rodea un astro, especialmente referida a la que rodea la Tierra.
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonos
<b>Combustible</b>	Cualquier material que es plausible de liberar energía una vez que se oxida de manera violenta y con desprendimiento de calor.
<b>Combustión</b>	Reacción química de oxidación, en la cual se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz.
<b>Contaminante</b>	Cualquier factor cuya presencia en un ambiente determinado y en ciertas circunstancias, constituyan o desencadenen contaminación.
<b>CO<sub>2</sub>eq</b>	Medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero.

<b>Dióxido de carbono</b>	Gas presente espontáneamente en la naturaleza, formado también por quema de combustibles fósiles. Es el principal gas de efecto invernadero producido por el hombre.
<b>Efecto invernadero</b>	Fenómeno por el cual ciertos gases retienen parte de la energía emitida por la Tierra tras haber sido calentada por radiación solar. Se produce un efecto de calentamiento similar al que ocurre en un invernadero, con una elevación de temperatura.
<b>Emisión</b>	Acción y efecto de emitir o en otras palabras, arrojar o echar fuera algo.
<b>Gases de efecto invernadero</b>	Componentes gaseosos de la atmósfera, naturales o antropógenos. Estos absorben y emiten radiación.
<b>Gases fluorados</b>	Gases presentes en la atmósfera exclusivamente por acciones humanas. Tienen altos valores de potencial de calentamiento global.
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero.
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarbonos
<b>HCFC</b>	Hidroclorofluorocarbonos

<b>Metano</b>	Hidrocarburo más simple; su molécula está formada por un átomo de carbono (C) y cuatro átomos de hidrógeno (H). Es uno de los gases de efecto invernadero, el segundo más importante.
<b>Óxido nitroso</b>	Gas presente naturalmente en la atmósfera debido al ciclo del nitrógeno. Es el tercer gas de efecto invernadero más importante.
<b>Ozono</b>	Componente gaseoso de la atmósfera. Es la forma triatómica del oxígeno.
<b>PFC</b>	Perfluorocarbonos
<b>Potencial de calentamiento global</b>	Índice que compara los efectos en el clima de un gas de efecto invernadero con los provocados por la emisión de la misma cantidad de dióxido de carbono.
<b>Radiación</b>	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.
<b>Refrigerante</b>	Agente de transferencia de calor, generalmente líquido, utilizado en aparatos tales como refrigeradores, congeladores y equipos de aire acondicionado.
<b>SAO</b>	Sustancias que agotan la capa de ozono.



## RESUMEN

Por motivos de conciencia ambiental, competitividad y desarrollo sostenible, una empresa dedicada a la manufactura de equipos de refrigeración ubicada en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala, buscó cuantificar sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al ambiente, en los diferentes procesos que desarrolla en un período de un año.

El presente trabajo fue realizado con el fin de implementar una metodología que permita el ordenamiento de datos y la obtención de un valor estimado de las emisiones de GEI de la empresa, en el período de tiempo determinado. El trabajo de investigación contempla la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante un año y por lo tanto se establece la base de cálculo para la estimación de las emisiones de la empresa en cualquier período de tiempo.

El proceso requirió utilizar elementos proporcionados por el Panel Intergubernamental de Expertos en el Cambio Climático (IPCC) y metodologías de cálculo proporcionadas por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, que son aceptados y utilizados internacionalmente para la estimación de emisiones de GEI.

Se adaptaron las metodologías estudiadas a las necesidades de la empresa y como resultado del proceso se obtuvo la cantidad estimada en masa de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y gases fluorados, emitida al ambiente por la empresa para sus diferentes áreas.

Los resultados se expresaron luego en términos de CO<sub>2</sub>eq con el fin de sintetizarlos y facilitar su análisis e interpretación. Se determinó que hay 5 fuentes principales de emisión de los gases mencionados en la empresa.

Luego del procesamiento de los datos, se encontró que la empresa produjo un estimado de 2 095,3503 toneladas de CO<sub>2</sub>eq durante el 2011 siendo su mayor fuente de emisión el uso de energía eléctrica con un 42 % del total de emisiones, siguiéndole en importancia las emisiones debidas al transporte de empleados hacia y desde la empresa con un 27 % y muy cerca estuvo la fuga de refrigerantes en el proceso de manufactura de los equipos de refrigeración, con una contribución del 24 % del total global de emisiones de la empresa.

A partir de los resultados se recomendaron algunas acciones que pretenden minimizar la cantidad de GEI emitida al ambiente por la empresa.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Implementar una metodología para la estimación de las emisiones de los cuatro gases de efecto invernadero (GEI) más importantes (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y gases fluorados) en una empresa que fabrica equipos de refrigeración.

### **Específicos**

1. Estudiar las herramientas y metodologías proporcionadas por el Protocolo de GEI para la estimación de emisiones de GEI en el sector industrial dedicado a la manufactura de equipos de refrigeración.
2. Implementar las herramientas y metodologías del Protocolo de GEI que se ajusten a las condiciones de la empresa y faciliten la estimación de las emisiones de GEI.
3. Estimar la cantidad de GEI emitida directamente al ambiente por la empresa, debido al uso de combustibles y refrigerantes durante el 2011, expresada como toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.
4. Estimar la cantidad de GEI emitida al ambiente indirectamente por la empresa, debido al uso de energía eléctrica y el transporte de empleados durante el 2011, expresada como toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

5. Identificar fuentes significativas de emisión de GEI y proponer acciones para su mitigación.

## INTRODUCCIÓN

En la mayoría de procesos industriales y aún cotidianos, se producen gases que viajan y se acumulan en la atmósfera, causando serios problemas en el balance energético de la Tierra. Dichos gases reciben el nombre de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su concentración en aumento se ha convertido en una preocupación a nivel internacional, sin excluir a Guatemala.

El desbalance energético provocado en la Tierra, se refleja en los bruscos cambios climáticos que se están sufriendo y que afectan a la humanidad en diversos aspectos. Para frenar el avance del daño, es necesario modificar las actividades nocivas al ambiente. Cada vez más empresas se unen a tal esfuerzo, al asumir su responsabilidad ambiental.

La empresa de equipos de refrigeración estudiada, es una de las organizaciones en Guatemala a la cual le interesa conocer cuantitativamente el impacto ambiental que provoca con sus emisiones de GEI. Para dicho propósito, se hizo necesaria la implementación de una metodología de cálculo que facilite su estimación ahora y en años posteriores.

La mayor cantidad de emisiones se debe a la quema de combustibles y el uso de energía eléctrica. Los combustibles son utilizados en el proceso de producción (maquinaria) y en el transporte de empleados (vehículos). En la producción de energía eléctrica, también se utilizan combustibles, motivo por el cual el uso de la electricidad se tomó como una importante fuente de emisión indirecta de GEI para la empresa.

Durante el desarrollo del presente trabajo se tomaron como guía las distintas herramientas proporcionadas por el protocolo de gases de efecto invernadero y el panel intergubernamental del cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés).

Los resultados obtenidos se expresaron en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente emitidos al ambiente por la empresa, en un determinado período de tiempo. Con dichos resultados, fue posible proponer algunos cambios para lograr una minimización óptima de las emisiones.

## **1. ANTECEDENTES**

La empresa para la cual se realizó la investigación se dedica a la manufactura de equipos de refrigeración y busca proporcionar equipos de buena calidad y alta confiabilidad a sus clientes, quienes son cada vez más exigentes en cuanto a la higiene ambiental del proceso de producción de los bienes que adquieren. Por dicha razón, el hecho de tener una producción más limpia, además de cumplir con la responsabilidad ambiental, se ha convertido en una herramienta de competitividad en el mercado.

La empresa desde hace algún tiempo ha buscado que sus procesos sean menos perjudiciales al ambiente, siguiendo un proceso dentro del cual, el cálculo de emisiones de GEI es tan solo un paso más en la carrera. Desde hace varios años, la empresa cuenta con un sistema de clasificación de desechos y reciclan una amplia gama de productos. Se está trabajando además en la reducción de consumo de agua y energía eléctrica. Con estas medidas y algunas otras, se ha logrado que la empresa reduzca su impacto negativo sobre el ambiente.

Con la mirada puesta en mejorar, surgió dentro de la organización, la necesidad de crear un plan de acción para la disminución y el control de las emisiones de GEI; consecuentemente se hizo necesaria la estimación de la cantidad producida de estos gases. Por dicha razón, se estableció un proceso que permite estimaciones presentes y futuras de los GEI, con el fin de controlar que las acciones propuestas cumplan con el propósito de minimizar las emisiones.

En el mes de febrero de 2007, Claudia Verónica Mutzus Galván de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentó el trabajo de graduación titulado: *Diseño y documentación de un plan para la implementación de un sistema de gestión ambiental conforme a la norma ISO 14000:2004*. En donde se usaron requisitos de la norma ISO 14001:2004, para desarrollar el plan del Sistema de Gestión Ambiental en los procesos relacionados con la producción de acero galvanizado por inmersión en caliente. Se logró pues, determinar y dejar documentados, impactos ambientales y sus medidas de mitigación y corrección. El trabajo refleja el interés de otras empresas del país en cuidar del ambiente.

Al total de emisiones de GEI de una institución se le conoce actualmente como “Huella de Carbono” o “Huella Ecológica”. Así como en Guatemala, en otros países las empresas buscan conocer la cantidad de sus emisiones y para referirse a dicho cálculo utilizan los términos antes mencionados.

En Turrialba, Costa Rica en el 2007, Leonardo Guerra Alarcón, abordó este tema en la tesis titulada *Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el centro agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE)*, presentada a la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. En la investigación, se calculó el monto total de CO<sub>2</sub>eq emitido por CATIE, en el período 2003-2006.

El gobierno de este mismo país (Costa Rica) dio a conocer a través de un boletín, el 26 de marzo del 2012, una campaña nacional nombrada *Limpia tu huella*. Esta campaña pretende neutralizar las emisiones de gases de efecto invernadero de la nación entera, para su bicentenario, en el 2021.

En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crearon el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) formado por científicos, expertos en temas ambientales. El IPCC ofrece asesoramiento internacional, con un punto de vista claro y científico, acerca del cambio climático y su impacto. Su asesoramiento contiene la información actualizada de los avances producidos a nivel mundial sobre dicho tema.

El IPCC proporciona herramientas y valores estándar que facilitan el cálculo de las emisiones al ambiente por diversos tipos de fuentes. Debido a su naturaleza científica e intergubernamental, la información que ofrece el IPCC es confiable y puede ser utilizada en las empresas como base y guía para el cálculo de los gases de efecto invernadero.

Otro reflejo de la preocupación internacional por el cambio climático, es el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Este es un acuerdo internacional cuya principal característica es que establece objetivos para que países industrializados y la Comunidad Europea reduzcan sus emisiones de GEI.

La CMNUCC fue adoptada en 1992 como un medio para aumentar la conciencia sobre el cambio climático a nivel mundial. Para fortalecer la CMNUCC, fue adoptado el Protocolo en Kyoto, Japón, el 11 de diciembre de 1997 y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. La diferencia principal entre la CMNUCC y el protocolo, es que la CMNUCC alienta a países industrializados a estabilizar sus emisiones de GEI, mientras que el Protocolo los compromete a hacerlo.

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (Protocolo de GEI), es otra herramienta creada para que los líderes gubernamentales y empresariales puedan entender, cuantificar y controlar las emisiones de gases de efecto invernadero. El Protocolo de GEI, es una asociación desarrollada entre el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Este trabaja con empresas, gobiernos y grupos ambientalistas de todo el mundo, para construir programas creíbles y eficaces que ayuden a combatir el cambio climático.

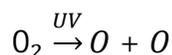
## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. La atmósfera terrestre y su composición

La Tierra está rodeada por la atmósfera, que es una capa compuesta por una mezcla homogénea de gases que se conocen como aire. Cerca del 99 % de su masa se concentra en los primeros 30 km sobre la superficie terrestre. La atmósfera inmediata a esta, es seca, pues no tiene vapor de agua.

La atmósfera terrestre está compuesta en un 99 % de su volumen, por nitrógeno (78,1 %) y oxígeno (20,9 %). El 1 % que resta, se divide en otros gases, como el argón (Ar) el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el neón (Ne) y el helio (He). Luego de algunos kilómetros, también contiene vapor de agua en una concentración que varía entre el 1 y el 3,5 %.

El O<sub>2</sub> presente en la atmósfera recibe radiación ultravioleta (UV) de los rayos solares; las moléculas de O<sub>2</sub> entonces se disocian como se muestra a continuación:



Las moléculas de O y O<sub>2</sub> que quedan en la atmósfera luego de la disociación del oxígeno molecular, chocan formando moléculas de ozono (O<sub>3</sub>) de la siguiente manera:



Estas moléculas también absorben radiación solar y entran en un estado de excitación que las hace inestables y por lo tanto se disocian de nuevo; su constante formación y destrucción da lugar a una concentración estacionaria de  $O_3$  en la atmósfera, formando lo que se conoce como capa de ozono.

## **2.2. Equilibrio energético de la Tierra (efecto invernadero)**

Entre la atmósfera y la Tierra se dan diversos intercambios de masa y energía que determinan el balance energético de la Tierra y las propiedades químicas y físicas de la atmósfera. La energía que se intercambia se encuentra en sus diferentes formas (cinética, potencial, química, calorífica y electromagnética). El intercambio de energía electromagnética se debe a la radiación solar y esta tiene un papel muy importante en la temperatura superficial de la Tierra. El clima de la Tierra entonces depende de su equilibrio energético.

Tanto el sol como la Tierra son cuerpos calientes y por lo tanto pueden emitir radiación electromagnética. La Tierra absorbe parte de la energía que recibe del sol y así se calienta su superficie, se funden hielos, y se evapora agua de mares, ríos, etc; el resto de la energía es irradiada de vuelta a través del espacio.

Los tres mecanismos mediante los cuales la Tierra reenvía energía son: conducción, que se da entre moléculas vecinas como calor sensible; convección, que sucede por el movimiento de grandes masas de aire y muchas veces provoca cambios drásticos de temperatura y radiación; que es el mecanismo mediante el cual el calor es reenviado al espacio.

Los gases y aerosoles de la atmósfera absorben cierta cantidad de la energía irradiada por la Tierra e inmediatamente esta se vuelve a emitir a la superficie terrestre en donde es absorbida de nuevo, lo cual permite que la capa de aire cercana a la tierra se mantenga cálida. Si esto no pasara, la temperatura promedio de la Tierra cambiaría de 15°C a -18°C. A dicho fenómeno de aumento de temperatura se le conoce como “efecto invernadero”; este ocurre naturalmente y es el responsable de que el agua exista en estado líquido en la superficie de la Tierra y de que la vida sea posible, tal y como se conoce hasta ahora.

### **2.3. Contaminación atmosférica**

Con anterioridad se estudió la composición de la atmósfera y algunas de sus características químicas y físicas que influyen en la concentración de sus distintas especies químicas. En la superficie de la Tierra se generan las especies químicas contaminantes de la atmósfera y pueden tener diversos destinos antes de accionar sobre los seres vivos en la superficie terrestre. Los contaminantes pueden reaccionar químicamente en alguna de las capas de la atmósfera, se pueden depositar, o en el caso de contaminantes radiactivos, pueden decaer.

Antes de continuar, debe decirse que las sustancias se convierten en contaminantes cuando su concentración aumenta, de manera que está muy por encima de la natural y que debido a esto causa daños o variaciones en el ambiente. El dióxido de carbono, por ejemplo, es un compuesto presente naturalmente en la atmósfera pero al incrementarse su concentración llega a ser altamente contaminante.

Durante los últimos años, las actividades humanas han acrecentado significativamente la cantidad de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). La mayoría de los SAO son gases que contribuyen con el efecto invernadero y cambian la composición de la atmósfera y el clima. Los principales sectores que utilizan SAO en sus actividades son la refrigeración, el aire acondicionado, las espumas, los aerosoles, los equipos de protección contra incendios y los disolventes.

Las emisiones se originan en la fabricación y en cualquier liberación no intencional de subproductos, en la evaporación y fugas de los depósitos, en los equipos durante el uso, en las operaciones de prueba y mantenimiento, y en las prácticas aplicadas al término de la vida útil.

Los contaminantes pueden tener fuentes humanas, naturales o bien una mezcla de las dos. Debido a que existen diversos tipos de contaminantes, es necesario clasificarlos para comprender mejor su importancia en la contaminación global.

### **2.3.1. Contaminantes primarios y secundarios**

Una manera de clasificar a los contaminantes es como primarios o secundarios. Los contaminantes primarios son los que desde las fuentes de emisión son vertidos directamente a la atmósfera; estos pueden ser muchos tipos de sustancias y dentro de ellos pueden clasificarse por su estado físico, composición o por otra característica que compartan. Los contaminantes secundarios no son vertidos directamente a la atmósfera desde las fuentes de emisión, sino que son formados en ella, debido a procesos químicos internos.

Los contaminantes secundarios son producto entonces de las transformaciones químicas que sufren los primarios en la atmósfera, no por esto son menos contaminantes; en muchos casos provocan daños mayores que los primarios.

Se ha dicho que el efecto invernadero es producido por gases y aerosoles presentes en la atmósfera. El efecto invernadero natural, se refiere al provocado por los gases que naturalmente se encuentran en la atmósfera. Las actividades humanas han aumentado la concentración de algunos de estos gases, convirtiéndose en contaminantes y provocando que el efecto invernadero sea mayor. Esto se refleja en cambios térmicos drásticos para la Tierra y por lo tanto el estudio de dichos gases es de suma importancia.

#### **2.4. Gases de efecto invernadero (GEI)**

Un gas de efecto invernadero o GEI es un gas presente en la atmósfera, capaz de emitir y absorber calor en forma de radiación. Unos de los principales GEI de la atmósfera terrestre son: el vapor de agua, el CO<sub>2</sub>, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>).

A pesar de estar en bajas concentraciones, los gases de invernadero cumplen un rol crucial en la dinámica atmosférica, pues como se mencionó antes, absorben y emiten radiación en ciertas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja, emitido por la superficie de la Tierra. Además de los gases de invernadero naturales, existe en la atmósfera una serie de gases producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro.

Los gases que contribuyen al efecto invernadero son varios, pero son cuatro los que lo hacen de manera más significativa debido a que permanecen un largo tiempo en la atmósfera o absorben más radiación que otros. Estos son:

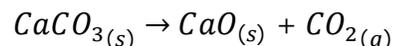
- Dióxido de carbono
- Metano
- Óxido nitroso
- Gases fluorados (hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos)

Estos cuatro gases, además de encontrarse naturalmente en la atmósfera, son enviados a ella por acción humana y su concentración ha ido aumentando a lo largo de los años. El aumento de su concentración ha impulsado el cambio climático y por tal razón su estudio es importante.

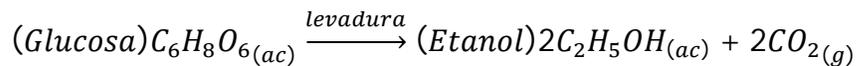
#### **2.4.1. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas incoloro e inodoro; también se conoce como gas carbónico y anhídrido carbónico. No es un gas tóxico. Está presente en la atmósfera y como ya se mencionó es uno de los gases que producen el efecto invernadero pues atrapa parte de la radiación infrarroja emitida por el sol. Naturalmente el CO<sub>2</sub> viaja a la atmósfera como parte del ciclo del carbono. Es el principal GEI emitido por actividades humanas y el problema no es tan solo la emisión sino que también se está alterando la capacidad de los vertederos naturales de remover el CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

El CO<sub>2</sub> se produce cuando cualquier compuesto del carbono se quema con un exceso de oxígeno, según lo muestra la siguiente reacción química:



Además, es un producto secundario de la fermentación del azúcar, como se muestra a continuación:



Otras fuentes importantes del CO<sub>2</sub> son la respiración de los animales y la actividad volcánica. La manera en que el CO<sub>2</sub> es eliminado de la atmósfera es por medio de plantas que hacen fotosíntesis y algunos microorganismos. De esta manera el CO<sub>2</sub> es intercambiado entre la atmósfera, el océano y la superficie de la Tierra. Este proceso natural de emisión y remoción de CO<sub>2</sub> llega a un balance, pero a partir de la revolución industrial, el hombre ha agregado grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, contribuyendo así al cambio climático global.

El CO<sub>2</sub> es una molécula poliatómica, por lo tanto puede cambiar su momento dipolo y es capaz de absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra y el sol, así llega a un nivel más alto de excitación. Esta energía extra que ha ganado puede perderla chocando con otras moléculas o simplemente emitir radiación de forma espontánea. Esta radiación se emite al espacio exterior o regresa a la Tierra.

El CO<sub>2</sub> enviado a la atmósfera por actividades del ser humano se produce especialmente por la quema combustibles fósiles (combustibles que contienen carbono) y además es producto secundario de algunos otros procesos industriales. El CO<sub>2</sub> emana de la oxidación del carbono de los combustibles durante la combustión. En situaciones de combustión óptimas, todo el carbono de los combustibles debería convertirse en CO<sub>2</sub>. No obstante, los procesos de combustión reales no son perfectos, y el resultado de ello es que se producen pequeñas cantidades de carbono parcialmente oxidado y no oxidado.

El valor calorífico de los combustibles es una propiedad química intrínseca. Sin embargo, estos varían de un tipo de combustible a otro, puesto que dependen de la composición de los enlaces químicos del combustible. Dadas estas diferencias y la relación entre el contenido de carbono y los valores caloríficos, los valores del contenido de carbono para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> de la quema de combustibles fósiles se expresan en carbono por unidad de energía. Esto, en general, permite mayor precisión al calcular emisiones, que si se expresaran en masa o volumen.

#### **2.4.2. Metano (CH<sub>4</sub>)**

Es un compuesto de fórmula CH<sub>4</sub>, formado por dos átomos de elementos no metálicos. Se encuentra abundantemente en la naturaleza en estado gaseoso, no tiene olor, ni color. Es el componente principal del gas natural que contiene una mezcla de butano, etano y propano. La descomposición anaeróbica de la materia animal y vegetal, produce el gas que se conoce como “gas de los pantanos” que también es metano. A temperatura ambiente, el metano es menos denso que el aire, hierve a -164°C y se derrite a -183°C.

Está clasificado entre los hidrocarburos poco solubles en agua. Es un combustible que al ser mezclado con una cantidad de entre el 5 y el 15% de aire, es explosivo. El metano no es tóxico al ser inhalado pero puede producir sofocación. Industrialmente es utilizado para la manufactura de formaldehído, cloroformo y otros productos, pero su principal uso es como combustible.

La reacción de combustión del metano que se muestra a continuación es altamente exotérmica (libera una gran cantidad de calor):



La energía liberada por la reacción de combustión del metano como gas natural es utilizada directamente para los sistemas de calefacción en hogares y edificios, se usa también para la producción de energía eléctrica. El gas natural existe en reservorios naturales debajo de la tierra y se encuentra siempre junto con depósitos de petróleo. Antes de surtirlo a hogares y edificios, pasa por un proceso de purificación y también se le agrega olor, con el fin de que los usuarios puedan detectar cualquier fuga.

En cuanto a su importancia como gas de efecto invernadero emitido por actividades humanas, el CH<sub>4</sub> es el segundo después del CO<sub>2</sub>. Si bien su vida media en la atmósfera es menor que la del CO<sub>2</sub>, su capacidad de atrapar energía en forma de radiación es más eficiente que la del CO<sub>2</sub>. El CH<sub>4</sub> es emitido a la atmósfera por fuentes naturales, como los humedales, tanto como por fuentes humanas tales como fugas en los sistemas de gas natural y la cría de ganado. Naturalmente, el CH<sub>4</sub> es removido de la atmósfera por procesos naturales del suelo y reacciones químicas en la atmósfera.

### **2.4.3. Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)**

El óxido nitroso es un gas formado por dos moléculas de nitrógeno y una de oxígeno, también conocido como el gas de la risa por la euforia que produce su inhalación, su fórmula química es N<sub>2</sub>O. Es un gas no inflamable, no tóxico y sin color, tiene un leve olor y sabor dulce. Cuando está a altas temperaturas es un agente oxidante fuerte. Bajo condiciones de presión y temperatura ambiente, es estable y prácticamente inerte, lo cual significa que no reacciona químicamente en presencia de otras sustancias. Es relativamente soluble en agua, alcohol y aceites.

El N<sub>2</sub>O está presente naturalmente en la atmósfera como parte del ciclo del nitrógeno y tiene una diversidad de fuentes naturales. Sin embargo, al igual que el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>, el N<sub>2</sub>O también es emitido a la atmósfera por el hombre debido a actividades industriales, quema de combustibles fósiles y procesos de manejo de aguas residuales.

Las emisiones naturales de N<sub>2</sub>O se deben principalmente al decaimiento del nitrógeno en bacterias en el suelo y los océanos. El N<sub>2</sub>O es removido de la atmósfera cuando es absorbido por cierto tipo de bacterias, destruido por radiación ultravioleta o reacciones químicas.

#### **2.4.4. Gases fluorados**

Los gases fluorados comprenden los hidrocarburos fluorados o hidrofluorocarbonos (HFC), los hidrocarburos perfluorados o perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre. A diferencia de los otros GEI, los gases fluorados no tienen fuentes naturales y todas sus emisiones son producto del hombre. Este tipo de gases se utiliza en los equipos de refrigeración, aire acondicionado y como aislantes. Sus emisiones se deben a diversos procesos industriales tales como la manufactura de aluminio y semiconductores.

Cuando se habla de gases fluorados y su impacto en el ambiente, se usa el término “potencial de calentamiento global” o GWP por sus siglas en inglés (*Global warming potential*). El GWP es un factor que permite expresar las emisiones de gases de efecto invernadero como emisiones de CO<sub>2</sub>. Los gases fluorados tienen muy altos GWP, al compararlos con otros gases que contribuyen al efecto invernadero, así que muy pequeñas concentraciones de estos en la atmósfera, pueden tener grandes efectos en la temperatura de la Tierra.

No hay muchas maneras de remover los gases fluorados de la atmósfera, la única forma de hacerlo es cuando la luz solar los destruye en una parte muy lejana de la atmósfera. De los gases de efecto invernadero que son emitidos por actividades antropogénicas, los gases fluorados son los más potentes, se mezclan fácilmente en la atmósfera y tienen un tiempo de vida más largo en la atmósfera.

Los HFC son utilizados principalmente en aire acondicionado tanto de automóviles como de edificios y casas, se usan como sustitución de los colorofluorocarbonos (CFC) e hidroclofluorocarbonos (HCFC) que son gases que destruyen la capa de ozono. Los HFC no destruyen la capa de ozono pero lamentablemente son potentes gases de efecto invernadero que tienen largas vidas medias en la atmósfera.

## **2.5. Fuentes de GEI**

Los GEI son emitidos a la atmósfera tanto desde fuentes naturales como antropogénicas. Las fuentes naturales han existido desde siempre y hasta hace algunos años habían mantenido un equilibrio energético en la Tierra. Si las fuentes antropogénicas no hubiesen aumentado al grado que lo hicieron, el equilibrio energético permanecería y no habría tantos problemas climáticos como los que se viven en estos tiempos.

Para lograr establecer soluciones a la problemática de aumento en las concentraciones de los GEI que se reflejan en cambios climáticos drásticos, es necesario el estudio de las fuentes de emisión. Es decir, si se conoce la fuente del problema es mucho más fácil minimizar o revertir sus efectos. En la descripción de los gases se incluyeron algunas de sus fuentes de emisión que se ampliarán en los siguientes párrafos.

### **2.5.1. Fuentes naturales**

Los gases de efecto invernadero no son producto solamente de la presencia del hombre en la Tierra, se generan también de fuentes naturales. El más importante de los gases de efecto invernadero es el CO<sub>2</sub> y una de sus principales fuentes de emisión es la respiración de humanos y animales.

Debido al metabolismo celular de humanos y animales, el oxígeno que entra al cuerpo por medio de la inspiración, reacciona con el carbono presente en los alimentos ingeridos y de la misma manera que en una reacción de combustión se forma CO<sub>2</sub>; en este proceso biológico también sucede. El CO<sub>2</sub> formado es expulsado del cuerpo a través de la expiración.

Otra fuente importante de generación de CO<sub>2</sub> es la descomposición de la materia orgánica, es decir, el material de origen natural que contiene carbono entre sus componentes (vegetación muerta, animales en descomposición, heces, etc.). Cuando la materia orgánica es descompuesta por bacterias en presencia de oxígeno se produce CO<sub>2</sub>; si la materia orgánica se descompone sin oxígeno presente, entonces lo que se produce es metano, que es el segundo GEI más importante.

Los volcanes o más específicamente, las erupciones volcánicas, son otra fuente de gases de efecto invernadero. Una forma de contaminación de los volcanes es la ceniza que puede tomarse como contaminación en aerosol y que puede llegar a alcanzar valores significativos. Los volcanes además emiten una diversidad de gases que incluyen vapor de agua, dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y óxido de azufre. Aunque un volcán no se encuentre en erupción, siempre expulsa estos gases que se encuentran presurizados en su interior.

Los incendios forestales son incendios naturales producidos en zonas llenas de abundante vegetación y también son fuente de contaminación por GEI. Aparte de provocar un daño ecológico muy grande, vierten cantidades enormes de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y disminuyen la cantidad de oxígeno presente en la misma. Un incendio forestal puede extenderse por varios kilómetros y mientras mayor sea el área que abarca, mayor es también la contaminación que provoca.

Los animales clasificados como rumiantes, son importantes participantes naturales del calentamiento global y el deterioro de la capa de ozono, debido a que liberan grandes cantidades de gases a la atmósfera. Entre los gases que liberan, se pueden mencionar como los más importantes: el dióxido de carbono, óxido nitroso y metano.

La producción de metano sucede primordialmente por la fermentación de los alimentos que ingiere el animal. La fermentación de los alimentos se debe a la presencia de ciertas bacterias anaerobias que utilizan diferentes sustancias para la producción de metano entre las que se encuentra el CO<sub>2</sub>. La cantidad de metano producida por las bacterias depende de los sustratos presentes en la dieta del rumiante.

Está determinado que también la vegetación viva emite cierta cantidad de metano a la atmósfera y también los pantanos, ciénagas y el sedimento de fango en los lagos. El metano se almacena bajo la tierra también, pero su escape de allí es por intervención humana y por lo tanto el tema se incluye y se amplía en el estudio de las fuentes antropológicas, así como la crianza de ganado vacuno en cantidades industriales.

## **2.5.2. Fuentes antropogénicas**

Cuando los contaminantes se emiten debido a las actividades humanas, entonces se conocen como contaminantes antropogénicos y estos son notoriamente importantes en las áreas urbanas. Los contaminantes antropogénicos pueden provenir de diversas fuentes. La concentración de GEI en la atmósfera ha aumentado de manera alarmante en los últimos años, en especial, a partir de la revolución industrial a principios del siglo XIX.

Se puede decir entonces que el incremento en la concentración de los GEI se debe primariamente a las fuentes antropogénicas. Las principales fuentes de este tipo son: la quema de combustibles fósiles tanto en transporte como en fuentes estacionarias, la producción de energía eléctrica, las actividades industriales y la eliminación de desechos sólidos en hogares y organizaciones de todo tipo. Entre las actividades industriales que contribuyen en mayor grado se encuentra la industria de la refrigeración y la crianza de ganado vacuno a nivel industrial.

### **2.5.2.1. Quema de combustibles fósiles**

La combustión es la reacción química de una sustancia o mezcla de sustancias con el oxígeno. Una reacción de combustión es exotérmica, lo cual significa que durante la reacción se libera energía. En una reacción de combustión, la energía liberada generalmente se desprende en forma de calor y luz en grandes cantidades. En toda combustión existe un elemento que arde llamado combustible y otro que produce la combustión que puede ser directamente el oxígeno o una mezcla que lo contenga y se le conoce como comburente. El comburente más común es el aire atmosférico.

Las sustancias gaseosas que se forman como producto de la reacción de combustión son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) puede también aparecer si en su composición el combustible utilizado contiene azufre, es asimismo posible que se presenten óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), lo cual depende de la temperatura a la que ocurra la reacción. En función de la manera en que se realice la combustión, una reacción de esta naturaleza puede ser de tipos distintos.

Se encuentra por ejemplo la reacción de combustión completa en donde el combustible reacciona al mayor grado posible con el comburente y por lo tanto no quedan trazas de este en los productos. En este tipo de reacción se alcanza el mayor grado de oxidación del combustible, contrario a lo que sucede en una reacción de combustión incompleta, en la cual sí aparecen residuos de combustible en los productos.

Las fuentes más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno, también conocidos como combustibles fósiles. Los combustibles fósiles son almacenes de organismos fósiles que en algún tiempo vivieron; consisten esencialmente y como se dijo anteriormente, en uniones de carbono e hidrógeno. Existen tres tipos de combustibles fósiles que pueden usarse para la provisión energética: el carbón, el petróleo y también el gas natural.

Las reacciones de combustión son muy útiles para la industria, pues permiten disponer de energía que se utiliza en diferentes formas y para distintos fines. En general, se realizan reacciones de combustión en equipos de proceso como hornos, calderas, intercambiadores de calor y todo tipo de cámaras de combustión. En la industria, los combustibles fósiles son fuentes de  $\text{CO}_2$  en dos tipos de combustión: estacionaria y móvil.

La combustión estacionaria se refiere a la que se da en la maquinaria que utiliza combustibles fósiles en una empresa y que no se está moviendo de lugar, como las calderas y los hornos. En este tipo de combustión se clasifica también la producción de energía eléctrica. Por otro lado, la combustión móvil es la que ocurre cuando se queman combustibles en vehículos utilizados para transporte de personal, materia prima o productos de la empresa.

### **2.5.2.2. Producción de energía eléctrica**

La electricidad es una fuente significativa de energía en todo el mundo, es una necesidad indispensable para la forma actual de vivir de la humanidad. Es utilizada en hogares, negocios e industrias y así como crece la cantidad de personas en una ciudad, así crece la demanda de electricidad. Los países desarrollados consumen grandes cantidades de energía eléctrica y así como su demanda aumenta cada día más, también aumenta la demanda de los países en desarrollo. La energía eléctrica se obtiene desde el calor liberado por la quema de combustibles fósiles o la fisión de un material nuclear. Esta energía se transforma en energía mecánica por medio de un proceso termodinámico.

También se produce electricidad a partir de la energía potencial del agua que por acción de turbinas hidráulicas, es convertida a energía mecánica. En los dos casos, la energía mecánica es convertida en energía eléctrica, utilizando dispositivos electromecánicos llamados generadores. La generación de energía eléctrica por quema de combustibles fósiles es la mayor fuente de GEI en el mundo. En las centrales térmicas se utiliza carbón o fuel como combustibles, generando de esta manera cenizas y humos que contienen dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.

Además de favorecer el efecto invernadero, estas sustancias generan lluvia ácida que es lluvia mezclada con ácidos fuertes que dañan el suelo e infraestructuras. La generación de electricidad tiene también un efecto adverso sobre el agua, pues se utiliza en el proceso, pero es regresada con una temperatura mayor que la natural y se afecta a la fauna que la habita.

### **2.5.2.3. Refrigerantes**

Los sistemas de refrigeración se consideran una fuente de emisión de gases de efecto invernadero debido a los refrigerantes utilizados en esta industria. Los refrigerantes pertenecen al grupo de los gases fluorados clasificados como gases que contribuyen al efecto invernadero.

Hay dos ciclos termodinámicos que gobiernan en los sistemas de refrigeración más comunes en la actualidad:

- Sistemas de absorción de vapor refrigerante
- Sistemas de compresión de vapor refrigerante

En ambos ciclos termodinámicos es necesaria la utilización de refrigerantes. Los refrigerantes son sustancias capaces de absorber o liberar calor según el rango de temperatura en el que se encuentre, a través de un cambio de fase. Cuando pasa de fase líquida a vapor, el refrigerante absorbe calor del medio en el que se encuentra y es así como se genera frío en los sistemas de refrigeración. Cuando pasa de vapor a líquido, libera energía y por lo tanto genera calor en los sistemas de calefacción.

Los refrigerantes se pueden clasificar según su denominación, de la siguiente manera:

- Hidrocarburos (HC): en su composición no tienen más que hidrógeno y carbono.
- Clorofluorocarburos (CFC): solo contienen carbono, flúor y cloro.
- Hidroclorofluorocarburos (HCFC): tienen lo mismo que los CFC e hidrógeno.
- Hidrofluorocarburos (HFC): su composición es semejante a la de los HCFC, a excepción del cloro.
- Refrigerantes naturales: compuestos inorgánicos.

Controlando la presión de evaporación de un refrigerante, es posible también controlar la temperatura a la que evapora y por lo tanto la generación de frío. Para seleccionar un refrigerante es importante conocer la escala de presiones a las que debe trabajarse, su eficiencia termodinámica, su calor latente y su comportamiento frente a los demás elementos del sistema de refrigeración.

Dadas las propiedades de los gases fluorados antes vistas, los refrigerantes contribuyen también al calentamiento global así como al deterioro de la capa de ozono. Para medir la incidencia de cada refrigerante sobre el calentamiento, se ha adoptado una escala relativa que usa como referencia al CO<sub>2</sub> con un GWP=1 en donde GWP son las siglas en inglés de potencial de calentamiento global o *global warming potential*.

Cada uno de los gases fluorados tiene un GWP que es comparado con el del CO<sub>2</sub> y por medio del cual es posible expresar el efecto sobre la atmósfera de los gases en términos de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Para que un refrigerante aporte al calentamiento global, debe existir una fuga de este al ambiente, es decir, no se genera incremento en el calentamiento solo por el uso de refrigerantes. En la industria de los refrigerantes suelen darse fugas en distintos puntos de su utilización, puede ser durante el cambio de fase del refrigerante o durante la inyección de refrigerante a los equipos; también puede suceder durante el uso de los equipos y en los equipos que se encuentran en mal estado o abandonados.

#### **2.5.2.4. Desechos sólidos de hogares y negocios**

Los desechos sólidos son los materiales restantes luego de haber realizado alguna operación y que son inservibles para dicha operación. Los desechos sólidos provienen tanto de hogares como de la industria y la cantidad de desechos producidos diariamente a nivel mundial alcanza niveles escandalosos.

El problema con los desechos sólidos es entre otros, que emiten gases de efecto invernadero a medida que se van descomponiendo. Los desechos orgánicos, al descomponerse por bacterias, producen grandes cantidades de metano o de dióxido de carbono al ambiente. Pueden tomarse como desechos sólidos también las heces del ganado que producen algunos gases de efecto invernadero como se mencionó entre las fuentes naturales, pero cuando la crianza de ganado se hace a gran escala, se vuelve una causa antropogénica de emisiones de GEI, principalmente de metano.

## **2.6. Cambio climático**

El cambio climático es un fenómeno que ocurre naturalmente y que puede definirse como cualquier cambio en la distribución estadística de los patrones del clima o en las condiciones meteorológicas promedio de la Tierra.

Este cambio se debe a procesos como el movimiento de los océanos, erupciones volcánicas, variación en la radiación solar, movimientos telúricos y también a la actividad humana. Esta última, está causando aumentos en la temperatura promedio de la atmósfera cerca de la superficie de la tierra y por este motivo, actualmente, los términos “cambio climático” o “calentamiento global” se utilizan frecuentemente para referirse a las alteraciones causadas directa o indirectamente por el hombre.

Sin embargo, el cambio climático incluye mucho más que un incremento en la temperatura. El cambio climático puede llevar a cosas tales como la desertificación, tormentas más intensas, derretimiento de los casquetes polares y el aumento del nivel del mar, el cambio de la fisonomía física de la Tierra y el patrón de la vida cotidiana.

### **2.6.1. Indicadores del cambio climático**

Un indicador ambiental, es una herramienta que representa el estado de ciertas condiciones ambientales en un área dada y un período de tiempo especificado. Los científicos utilizan indicadores ambientales, incluyendo aquellos relacionados con el clima, para monitorear las tendencias del estado del ambiente, los factores claves que afectan el ambiente y los cambios en los ecosistemas, en función del tiempo.

Internacionalmente se ha llegado a identificar hasta 110 indicadores del cambio climático. Con el fin de simplificarlos, la agencia estadounidense de protección ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) los ha dividido en cinco categorías:

- Tiempo y clima: incluye indicadores relacionados con los patrones que siguen el tiempo y el clima, tales como temperatura, precipitación, tormentas, sequías y olas de calor. Estos pueden revelar cambios climáticos a largo plazo en el sistema climático de la Tierra.
- Océanos: influyen en el clima y a su vez los cambios en el clima pueden alterar ciertas propiedades del océano. Esta categoría examina las tendencias en las características del océano que se relacionan con el cambio climático, tales como la acidez, la temperatura, el almacenamiento de calor y el nivel del mar.
- Nieve y hielo: los cambios en el clima afectan drásticamente las áreas cubiertas de hielo y nieve de la Tierra. Estos cambios, pueden afectar la temperatura del aire, el nivel del mar, la corriente de los océanos y los patrones de las tormentas. Los indicadores clasificados aquí, se enfocan en las tendencias de los glaciares, la extensión de las áreas cubiertas de nieve, y el congelamiento y descongelamiento de los océanos.
- Sociedad y ecosistemas: los cambios climáticos, afectan también la salud pública, la agricultura, la producción de energía, el uso de la tierra, la recreación y otros aspectos de la sociedad. Una pequeña cantidad de los impactos causados, son estudiados en esta categoría, tales como las enfermedades relacionadas con el aumento de calor y el crecimiento de las plantas.

- Gases de efecto invernadero: los indicadores aquí, caracterizan la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera debido a las actividades humanas, la concentración de los gases y el cambio de estas.

## **2.7. Importancia de la cuantificación de GEI**

Debido a que la concentración de algunos gases de efecto invernadero ha ido aumentando en los últimos años y con ella también aumenta el impacto que los cambios de temperatura provoca en el ambiente, se ha hecho imperativo cuantificar los gases con el fin de lograr cuantificar su impacto. Al estimar el daño que se causa, es posible establecer soluciones. Dada la importancia que se le ha dado a la minimización del impacto ambiental, el interés de las organizaciones por conocer el daño que provocan en el ambiente ha aumentado.

El término “huella de carbono” se utiliza actualmente para describir el impacto total que una organización tiene sobre el ambiente debido a sus propias emisiones de GEI. Las emisiones de los GEI más importantes se expresan en toneladas de carbono equivalente, gracias al GWP antes mencionado.

Al llevar un inventario de sus emisiones de GEI, una empresa puede obtener varios beneficios. Una organización no solo es capaz de buscar soluciones para el daño ocasionado por sus emisiones, sino que puede encontrar las mejores soluciones adaptadas a sus necesidades y capacidades. También es posible prevenir los problemas que se relacionan con futuras prohibiciones de emisiones de GEI.

La contabilidad de las emisiones es también útil para evaluar las reducciones logradas con el paso del tiempo luego de haber implementado algunas medidas. Las empresas utilizan el cálculo de la huella de carbono como medida para demostrar su compromiso con el ambiente y por lo tanto les sirve como herramienta competitiva, pues cada vez más personas prefieren adquirir productos que causen el menor impacto posible en el ambiente.

### **2.7.1. Reporte de emisiones como CO<sub>2</sub>eq**

El dióxido de carbono equivalente, abreviado como CO<sub>2</sub>eq, es una medida estándar usada para comparar las emisiones de varios gases de efecto invernadero, usando como base su potencial de calentamiento global. La cantidad de otros gases de efecto invernadero puede convertirse a la cantidad equivalente de dióxido de carbono, con el mismo potencial de calentamiento global.

El GWP del dióxido de carbono es 1 y todos los demás gases tienen uno diferente, como por ejemplo el metano, que tiene un GWP de 25. Esto significa que una unidad de masa de CH<sub>4</sub> equivale a 25 unidades de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, pues esas cantidades de masa de cada uno de los gases poseen el mismo potencial de calentamiento global. El hecho de reportar la emisión de todos los gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub>eq, facilita la comprensión del impacto ambiental que se ocasiona.



### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Variable**

Las variables necesarias para la estimación de emisiones de GEI en la empresa estudiada, se establecieron según el tipo de fuente probable de generación de dichos gases. Se determinaron cuatro probables fuentes de emisión o generación: combustión fija, combustión móvil, refrigerantes y electricidad. En las tablas I - IV se suministra información acerca de las variables utilizadas en la estimación de emisiones para cada fuente.

En las tablas se observa una columna “variable” que proporciona el nombre de la variable en cuestión; la siguiente columna denominada “símbolo”, se refiere a las letras que identificarán a la variable en el presente trabajo y la columna “unidad” indica la unidad de medida en la que se expresa la variable. Las variables se clasifican en las tablas como dependientes o independientes. Las independientes son las que se manipularon y que son antecedentes de las dependientes. Las variables dependientes, se refieren a los valores obtenidos en los resultados y son el efecto de las variables independientes.

En las tablas de la I a la III se menciona un factor de emisión dado en unidades de toneladas/galones. Se utilizan estas unidades debido a que los factores son proporcionados por el IPCC y son valores estandarizados que se recomienda no convertir a otras unidades para no incurrir en error.

Tabla I. **VARIABLES UTILIZADAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE MASA DE GEI POR COMBUSTIÓN FIJA (MAQUINARIA)**

Variable	Símbolo	Unidad	Tipo de variable	
			Independiente	Dependiente
Volumen	V	Gal	X	
Factor de emisión del GEI	FE	Ton/gal	X	
Tiempo	t	Mes, año	X	
Masa de GEI	m	Ton		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **VARIABLES UTILIZADAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE MASA DE GEI POR COMBUSTIÓN MÓVIL (VEHÍCULOS)**

Variable	Símbolo	Unidad	Tipo de variable	
			Independiente	Dependiente
Distancia recorrida (longitud)	L	Km	X	
Número de empleados	NE	Personas	X	
Frecuencia de viajes	Fv	Viajes/año	X	

Fuente: elaboración propia.

Continuación de tabla II.

Volumen	V	Gal	X	
Factor de emisión del GEI	FE	Ton/gal	X	
Tiempo	T	Mes, año	X	
Masa de GEI	M	Ton		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Variables utilizadas en la estimación de la cantidad de masa de GEI por uso de electricidad**

Variable	Símbolo	Unidad	Tipo de variable	
			Independiente	Dependiente
Energía consumida	$E_c$	kWh	X	
Factor de emisión del GEI	FE	Ton/kWh	X	
Tiempo	T	Mes, año	X	
Masa de GEI	M	Ton		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Variables utilizadas en la estimación de la cantidad de masa de GEI por refrigerantes**

Variable	Símbolo	Unidad	Tipo de variable	
			Independiente	Dependiente
Masa	m	Kg	X	
Potencial de calentamiento global	GWP	Ton/kWh	X	
Tiempo	t	Mes, año	X	
Masa de GEI	m	Ton		X
Decremento en inventario	D	Kg	X	
Refrigerante adquirido	P	Kg	X	
Venta de refrigerante	S	Kg	X	
Unidades iguales	U	--	X	
Carga de refrigerante	Co	Kg	X	
Tasa anual de fuga	TF	%	X	

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación de campo de estudios**

- Ubicación: el estudio se realizó en una empresa de equipos de refrigeración ubicada en el municipio de Mixco, del departamento de Guatemala.
- Proceso: estimación de las emisiones de GEI de la empresa dividida en 4 áreas:
  - Bodega 1 (producción)
  - Bodega 2 (área administrativa)
  - Bodega 3 (oficinas)
  - Transporte de empleados desde y hacia la empresa durante el 2011.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Ejecutora de proyecto: Iris Alejandra Salazar Cruz
- Asesor del proyecto: Ingeniero químico Gabriel Chavarría
- Coasesor I: Ingeniero mecánico Rolando Peláez
- Coasesor II Ingeniera ambiental Rossalyn McLeod
- Coasesor III: Roberto Tucubal

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

- Computadora
- Calculadora

- Base de datos de la empresa (gasto de combustibles, refrigerantes y electricidad)
- Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: “Estándar corporativo de contabilidad y reporte”
- Herramientas para cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> para refrigerantes proporcionadas por el protocolo de gases de efecto invernadero.

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

La técnica aplicada es cualitativa, porque no se realizan mediciones directas de los gases de efecto invernadero, sino estimaciones a partir de factores ya establecidos.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

El primer paso a tomar fue el estudio de los métodos y herramientas que ofrece el protocolo de GEI y el panel intergubernamental del cambio climático (IPCC) para cuantificar las emisiones de GEI a nivel industrial. De aquí se eligieron los métodos específicos para la industria dedicada a la manufactura de equipos de refrigeración.

Luego se seleccionó como período de tiempo, de enero a diciembre del 2011. La unidad de tiempo utilizada fue un mes y los resultados finales se proporcionan en emisiones de cada uno de los GEI por año. En seguida, se hizo una delimitación organizacional en la cual se establecieron cuatro áreas de la empresa que cubriría el análisis de emisiones: bodega 1, que es el área administrativa; bodega 2, que incluye el área de producción; el área de oficinas denominada bodega 3 y el transporte de empleados desde y hacia la empresa en los días de trabajo.

Se procedió a continuación a realizar un recorrido por la empresa para detectar posibles fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y se seleccionaron los factores de emisión para cada gas y según las fuentes. Del recorrido se divisaron como fuentes de emisión la combustión fija, combustión móvil, electricidad, uso de refrigerantes en los equipos producidos y en los equipos de aire acondicionado instalados en cada área.

Las fuentes encontradas por áreas se detallan en la tabla V. La combustión fija y los refrigerantes se colocan en negrita debido a que estas dos fuentes se clasifican como directas y las otras tres como fuentes indirectas de emisión.

Tabla V. **Fuentes de emisión de GEI por área**

Fuente de emisión	Área			
	Bodega 1	Bodega 2	Bodega 3	Transporte
Electricidad	X	X	X	
<b>Combustión fija</b>		X		
Combustión móvil				X
<b>Refrigerantes</b>		X		
Aire acondicionado	X	X	X	

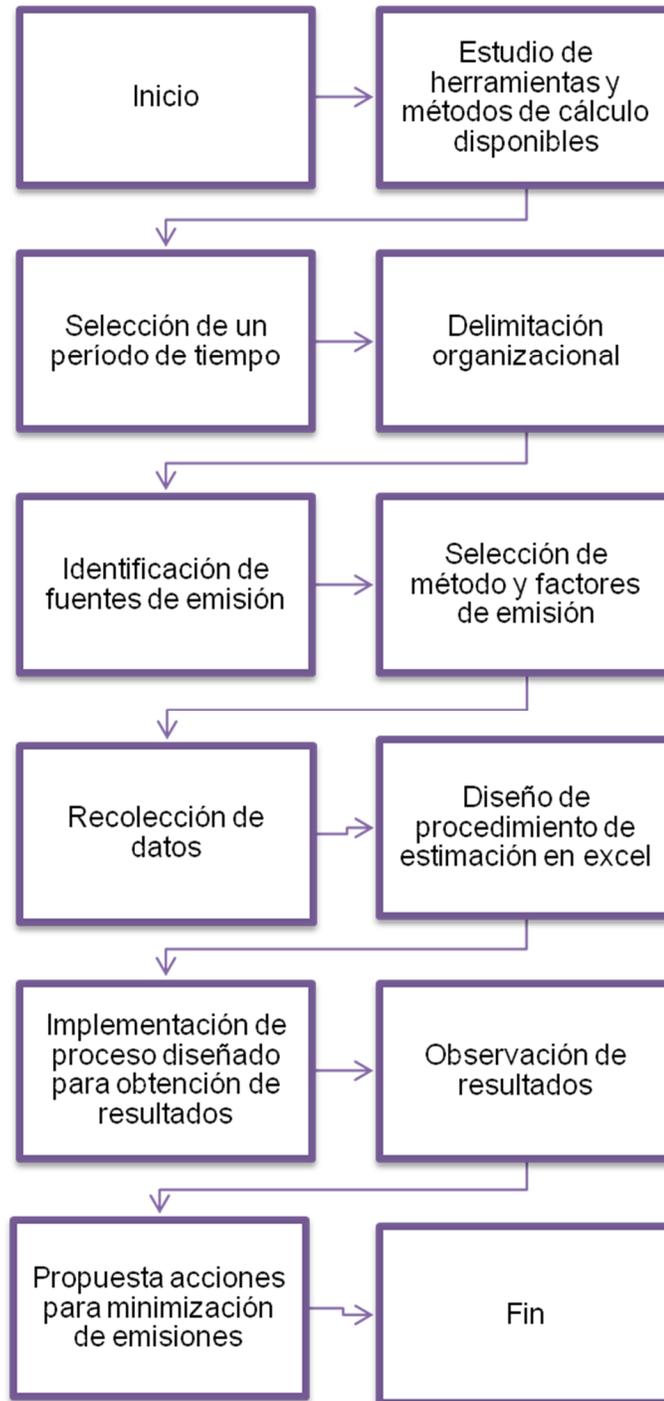
Fuente: elaboración propia.

Después de establecer las fuentes y los factores de emisión a utilizar, se procedió a recolectar los datos necesarios: tipos y volúmenes de refrigerantes y combustibles, gasto de energía eléctrica, tiempo, distancias, tipo de transporte utilizado, número de empleados y tipos de equipo de aire acondicionado.

Con los datos necesarios para la estimación, se procedió a crear en Excel una hoja de cálculo exclusivo para la empresa, con fórmulas y formatos que simplificaran el procesamiento de los datos y la estimación de las emisiones. Se tabularon entonces los datos de manera ordenada en la hoja creada para el efecto y se obtuvieron los resultados buscados de emisiones de GEI en el período de tiempo seleccionado por fuente de emisión y también un dato global expresado en toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

Para finalizar, se analizaron los resultados obtenidos para detectar las fuentes principales de emisión, con el fin de proponer una serie de acciones a seguir que permitan la minimización de la formación o producción de GEI por la empresa. La figura 1 muestra el procedimiento de manera resumida.

Figura 1. **Flujograma del proceso**



Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

Tanto la tabulación como el ordenamiento y el procesamiento de los datos, se realizó utilizando la aplicación Excel para hojas de cálculo de Microsoft. Para el procesamiento se utilizaron además herramientas de cálculo y factores proporcionados por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero y por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

#### **3.7.1. Procesamiento de la información**

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, en su página de internet, facilita herramientas de cálculo estandarizadas para distintos sectores industriales. Existe un conjunto de herramientas específicamente para la industria de equipos de refrigeración denominada "*Refrigeration and Air-conditioning equipment*" que traducido al español significa "Equipos de Refrigeración y Aire acondicionado".

Este conjunto de herramientas incluye documento de guía y hojas de Excel que permiten estimar la cantidad de GEI emitidos por la manufactura, servicio y descarte de equipos de refrigeración y aire acondicionado. También incluye herramientas para el cálculo de emisiones de las distintas fuentes que usualmente se relacionan con este tipo de industria. La metodología que propone se basa en factores estandarizados y calculados por el IPCC.

Utilizando como guía dichas herramienta, se adaptó un proceso de estimación de emisiones para la empresa en estudio. Se estableció a partir del estudio de la bibliografía, que los GEI emitidos por la empresa son: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y refrigerantes, que con el uso de su potencial de calentamiento global o GWP se reportaron como toneladas de CO<sub>2</sub>.

Las herramientas utilizadas son:

- “Emisiones de GEI por combustión estacionaria” (Excel)
- “Emisiones por manufactura, instalación, operación y desecho de equipo de refrigeración y aire acondicionado” (Excel) y “Emisiones de GEI por electricidad adquirida”
- “Emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles” de la Agencia Internacional de Energía (AIEA) que da el dato más actualizado (2009) y específico para Guatemala del factor de emisión por energía adquirida.
- “Emisiones de GEI por transporte o recursos móviles”

### **3.7.1.1. Masa de GEI por combustión fija o estacionaria**

El cálculo se hizo con base en el volumen de combustibles consumidos por la empresa mensualmente para uso exclusivo de maquinaria fija. Los gases emitidos por combustión estacionaria son: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. La masa de estos GEI se calculó de la siguiente manera:

$$m_{GEI} = V (FE) \quad [Ec 1]$$

En donde:

$m_{GEI}$  = masa del GEI (ton)

$V$  = volumen de combustible (L)

$FE$  = factor de emisión de GEI por quema de combustibles (ton gas/L)

### 3.7.1.2. Masa de GEI por combustión móvil

Para la estimación de las emisiones por combustión móvil se realizaron varios pasos, con el fin de calcular la masa de GEI a partir de la siguiente ecuación:

$$m_{GEI} = L(FE * NE * Fv)2 \quad [\text{Ec. 2}]$$

En donde:

$M_{GEI}$  = masa del GEI (ton)

L = longitud, distancia recorrida (km)

FE = factor de emisión de GEI por combustibles, según transporte usado

NE = número de empleados

Fv = veces que viaja en un año (392x2). Se multiplica por 2 debido a que hacen un viaje de ida y uno de vuelta, recorren 2 veces la misma distancia en un día.

### 3.7.1.3. Distancia recorrida

Se refiere a la distancia en km que recorre cada uno de los trabajadores hacia y desde la empresa. Para esto se utilizó la herramienta de internet Google Maps. En primer lugar, de la base de datos de la empresa se obtuvo la dirección de cada uno de los 968 empleados; se clasificaron por departamento, zona y municipio. En seguida se realizó otra clasificación por colonias y luego con Google Maps se estimó la distancia aproximada de dichas colonias a la empresa.

Con este proceso se obtuvieron distancias promedio de las diferentes zonas hacia la empresa y se estableció que los 29 empleados que viven a 3 km o menos, no utilizan vehículo y no se toman en cuenta en las emisiones.

#### **3.7.1.4. Tipo de transporte y combustible**

Se determinó la cantidad de empleados con vehículo propio por el dato de los parqueos ocupados, tanto de motocicletas como de automóviles. Los demás empleados se presume que viajan en autobús público. El tipo de combustible se estableció haciendo un recorrido por el parqueo para determinar qué automóviles utilizan diésel pues se tiene la ventaja de que la mayoría utilizan gasolina y muy pocos diésel. Por conveniencia, se asumió que todas las motocicletas usan gasolina y todos los autobuses usan diésel.

#### **3.7.1.5. Masa de GEI debido al uso de energía eléctrica**

Existen datos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía o AIE, específicos para cada país del factor de emisión de GEI por uso de electricidad. La masa de GEI se basa en el uso de dicho factor como lo establece la ecuación siguiente:

$$m_{GEI} = E_c(FE) \quad [Ec. 3]$$

En donde:

$m_{GEI}$  = masa de GEI (ton)

$E_c$  = consumo eléctrico (kWh)

$FE$  = factor de emisión de GEI por quema de combustibles (ton GEI/kWh)

### **3.7.1.6. Masa de GEI por uso de refrigerantes**

Los refrigerantes se utilizan en la empresa tanto para la manufactura de equipos como en el aire acondicionado.

#### **3.7.1.6.1. Por manufactura y almacenamiento de equipos**

Para estimar la cantidad de refrigerantes emitidos a la atmósfera se hace un inventario de los refrigerantes y el faltante se supone que pertenece a la cantidad que se escapó al ambiente. La ecuación 4 muestra la estimación.

$$m_{GEI} = (D + P - S) * GWP \quad [\text{Ec. 4}]$$

En donde:

$m_{GEI}$  = masa de GEI (ton)

D = decremento en inventario que es la diferencia entre la cantidad de refrigerante almacenado al inicio del año y la cantidad al final (kg)

P = suma de refrigerantes adquiridos de proveedores durante el año

S = ventas de refrigerantes durante el año

GWP = potencial de calentamiento global

#### **3.7.1.6.2. Por uso de A/C**

$$m_{A/C} = U * GWP * Co * TF \quad [\text{Ec. 5}]$$

En donde:

$m_{A/C}$  = emisión por uso de aire acondicionado (ton CO<sub>2</sub>)

U = número de unidades iguales (unidad A/C)

Co = carga de refrigerante del equipo (kg)

TF = tasa anual de fuga en porcentaje, se estableció como 3 %

### 3.7.1.7. Emisiones de CO<sub>2</sub>eq

Es necesario expresar la cantidad de todos los gases emitidos como CO<sub>2</sub> equivalente para sintetizar los resultados. Con base en su GWP la cantidad equivalente de CO<sub>2</sub> de los GEI, se calcula a partir de la ecuación 6 que se ve a continuación:

$$T_{CO_2eq} = m_{GEI} * GWP \quad [Ec. 6]$$

En donde:

T<sub>CO<sub>2</sub>eq</sub> = toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (ton)

m<sub>GEI</sub> = masa de gas de efecto invernadero (ton)

GWP = potencial de calentamiento global (adimensional)

### 3.7.2. Tabulación de la información

Los datos recolectados y calculados se ordenaron en tablas para su mejor comprensión y manipulación. Las tablas de los datos recolectados o datos originales se presentan en el apéndice 4 y las de los datos calculados en el apéndice 5.

Las tablas VI – VIII que se encuentran en las páginas siguientes, muestran los factores de emisión utilizados en los cálculos para las diferentes fuentes de emisión determinadas. La tabla IX contiene los valores de GWP para cada uno de los GEI emitidos por la empresa.

Tabla VI. Factores de emisión de GEI por combustibles

<b>Combustible</b>	<b>Factor de emisión de CO<sub>2</sub> (ton /L)</b>	<b>Factor de emisión de CH<sub>4</sub> (ton /L)</b>	<b>Factor de emisión de N<sub>2</sub>O(ton /L)</b>
Diésel	0,002677	3,6120 E-07	2,1700 E-08
Gasolina	0,002272	3,2782 E-07	1,9700 E-08
Propano (GLP)	0,001612	1,2771 E-07	2,5500 E-09

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Factores de emisión por combustión móvil

<b>Combustible</b>	<b>Factor de emisión de CO<sub>2</sub> (ton/km)</b>	<b>Factor de emisión de CH<sub>4</sub> (ton/km)</b>	<b>Factor de emisión de N<sub>2</sub>O (ton/km)</b>
Bus	0,6649 E-4	3,7267 E-10	3,1056 E-10
Automóvil diésel	0,2798 E-3	3,1056 E-10	6,2112 E-07
Automóvil gasolina	0,2375 E-3	9,1304 E-09	4,9068 E-09
Motocicleta	0,1259 E-3	4,3478 E-08	4,3478 E-09

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Factores de emisión de GEI por electricidad**

<b>GEI</b>	<b>Factor de emisión (ton CO<sub>2</sub>/kWh)</b>
CO <sub>2</sub>	0,0349 E-2
CH <sub>4</sub>	1,2232 E-08
N <sub>2</sub> O	5,1467 E-09

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **GWP de gases de efecto invernadero**

<b>GEI</b>	<b>GWP</b>
CO <sub>2</sub> (referencia)	1
R-290	3
R-134	1 300
R-404	3 260
R-22	1 810
R-410 <sup>a</sup>	1 725
N <sub>2</sub> O	298
CH <sub>4</sub>	25

Fuente: elaboración propia.



## 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de los cálculos realizados se presentan en tablas y gráficas que ayudan a entender de mejor manera los valores numéricos. Los resultados se reportan por tipo de fuente de emisión de los GEI. Se expone además un dato global de emisiones de la empresa, expresado en términos de CO<sub>2</sub> equivalente, obtenido a partir de los GWP de los gases.

### 4.1. Emisiones anuales de GEI por fuente de emisión

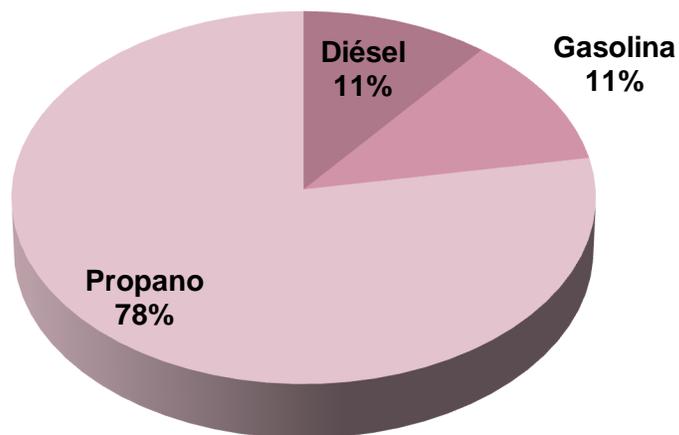
Las tablas a continuación muestran la cantidad de GEI emitida por fuente de emisión en 2011.

Tabla X. **Emisiones anuales de GEI por combustión fija o estacionaria**

Combustible	Emisión de GEI (Ton/año)			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> eq
<b>Diésel</b>	16,8800	0,0023	1,3700 E-04	16,9783
<b>Gasolina</b>	17,6900	0,0026	1,5300 E-04	17,8006
<b>Propano</b>	120,6900	0,0096	1,9100 E-04	120,9869
<b>TOTAL</b>	155,2600	0,0145	4,8100 E-04	155,7658

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> eq por combustibles, en combustión estacionaria**



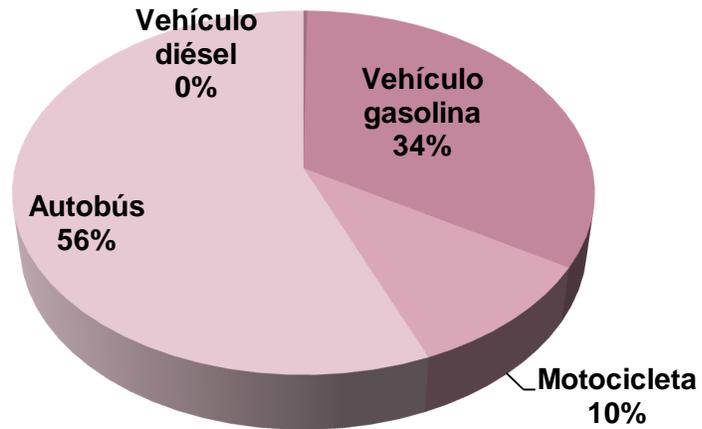
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Emisiones anuales de GEI por combustión móvil (transporte)**

Tipo de transporte	Emisiones de GEI (Ton/año)			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> eq
<b>Vehículo diésel</b>	0,5561	2,4689E-03	2,4689E-03	1,3535
<b>Vehículo gasolina</b>	188,9614	3,8633E-03	3,8633E-03	190,2092
<b>Motocicleta</b>	57,2010	1,5016E-03	1,5016E-03	57,6859
<b>Autobús</b>	319,1236	1,9131E-03	1,9131E-03	319,7416
<b>TOTAL</b>	565,8421	9,7469E-03	9,7469E-03	568,9902

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>eq por combustibles en combustión móvil**



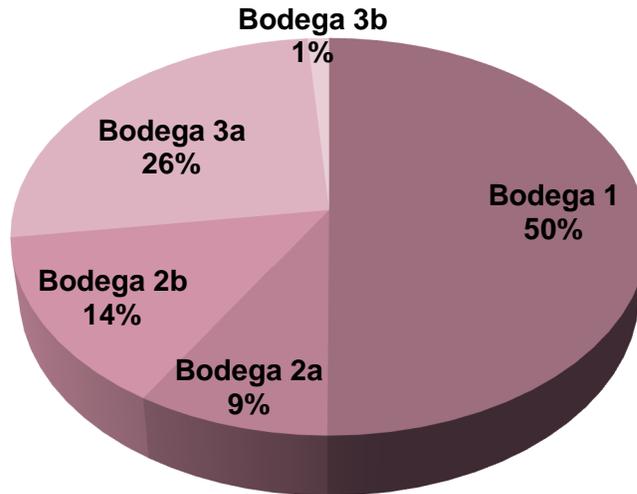
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Emisiones anuales de GEI por uso de electricidad**

Área	Emisiones de GEI (Ton/año)			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> eq
<b>Bodega 1</b>	419,0800	0,0147	0,0618	437,8645
<b>Bodega 2a</b>	72,3000	0,0025	0,0107	75,5407
<b>Bodega 2b</b>	117,9900	0,0041	0,0174	123,2787
<b>Bodega 3a</b>	217,1600	0,0076	0,0320	226,8936
<b>Bodega 3b</b>	10,3600	0,0004	0,0015	10,8243
<b>TOTAL</b>	836,8900	0,0293	0,1234	874,4018

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> eq por uso de energía eléctrica**



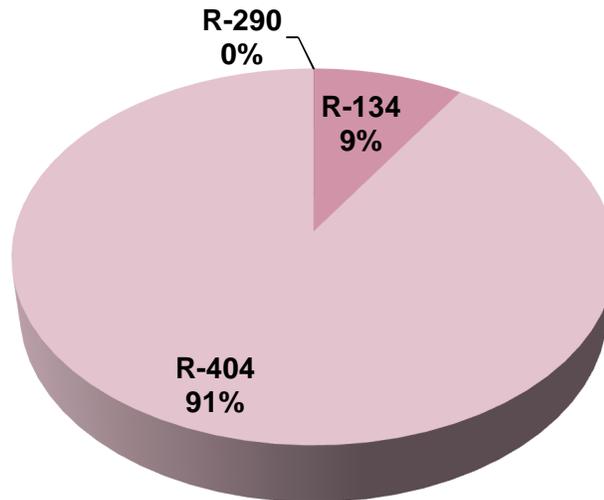
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Emisiones anuales de refrigerantes por manufactura y almacenamiento de equipos**

Refrigerante	Emisiones de GEI (ton/año)	
	Refrigerante	CO <sub>2</sub> eq
R-290	0,0361	0,1084
R-134	0,0347	45,0454
R-404	0,1372	447,1225
<b>TOTAL</b>	N/A	492,2763

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>eq por refrigerantes en manufactura y almacenamiento de equipo**



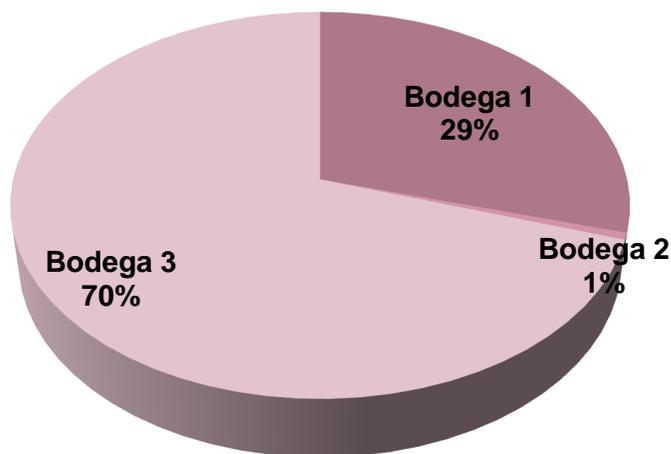
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Emisiones anuales de refrigerantes por uso de aire acondicionado**

Área	Emisiones de GEI (Ton/año)		
	R-22	R-410A	CO <sub>2</sub> eq
<b>Bodega 1</b>	9,0711E-04	0,0000	1,6419
<b>Bodega 2</b>	1,7401E-05	0,0000	0,0315
<b>Bodega 3</b>	2,0242E-03	0,0001	3,9162

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>eq por refrigerantes, en aire acondicionado**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. **Emisiones anuales de CO<sub>2</sub>eq a nivel global de la empresa**

En las tablas a continuación se dan las cantidades de GEI emitidas a nivel global por la empresa en 2011.

Tabla XV. **Emisión total de CO<sub>2</sub>eq del año 2011 de la empresa**

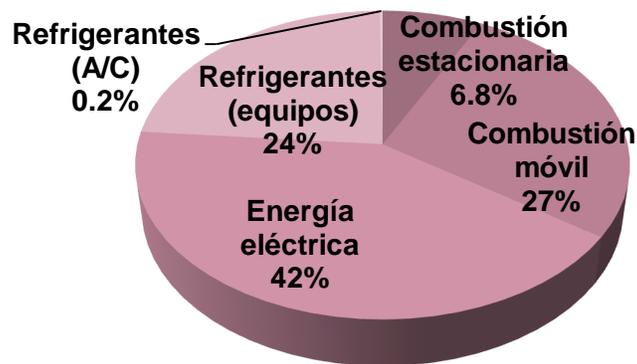
<b>Fuente de emisión</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub>eq</b>
<b>Combustión estacionaria</b>	155,7658
Combustión móvil	568,9902
Energía eléctrica	874,4018
<b>Refrigerantes (manufactura y almacenamiento de equipos)</b>	492,2763

Continuación de tabla XV.

<b>Refrigerantes (aire acondicionado)</b>	3,9162
<b>Total</b>	2 095,3503

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Porcentaje de masa global de CO<sub>2</sub>eq por fuente de emisión**



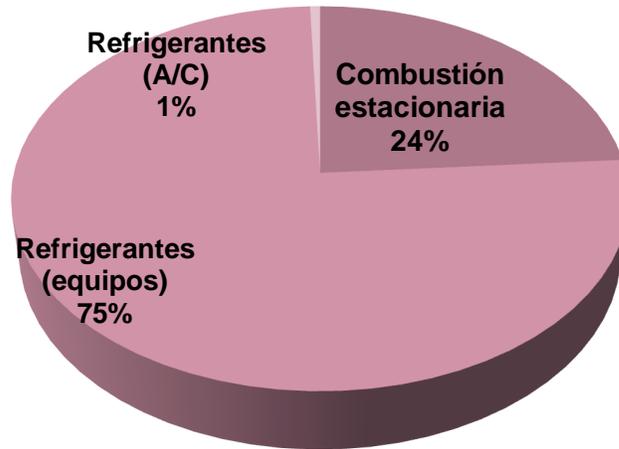
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Emisiones por fuentes directas**

<b>Fuente de emisión</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub>eq</b>
Combustión estacionaria	155,7658
Refrigerantes (manufactura y almacenamiento de equipos)	492,2763
Refrigerantes (aire acondicionado)	3,9162
<b>Total</b>	<b>651,9583</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Porcentaje de masa de CO<sub>2</sub>eq por fuentes directas**



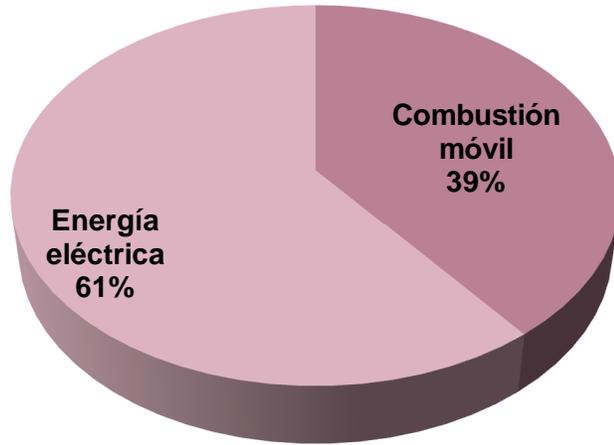
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Emisiones por fuentes indirectas**

Fuente de emisión	Ton CO <sub>2</sub> eq
Combustión móvil	568,9902
Energía eléctrica	874,4018
<b>Total</b>	<b>1 443,3920</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Porcentaje de masa de CO<sub>2</sub>eq por fuentes indirectas**



Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como objetivo general de este trabajo se tiene la implementación de una metodología que estime la cantidad de los principales GEI emitidos al ambiente por la empresa dedicada a la manufactura de equipos de refrigeración. Para tal propósito, se estudiaron metodologías y herramientas propuestas por el protocolo de GEI y el IPCC que hacen uso de factores de emisión para la estimación requerida, que era también uno de los objetivos de la investigación. Luego del estudio, se adaptaron las metodologías y herramientas a las necesidades de la empresa con factores específicos para el país y los gases emitidos.

Al adaptar las metodologías a las necesidades de la empresa, se cumplió con otro objetivo, y en seguida se procedió a alcanzar el siguiente objetivo que es la estimación de emisiones. Las emisiones de GEI de la empresa, fueron clasificadas por fuentes de emisión y se clasificaron como directas e indirectas. Como fuentes directas se tomó: la combustión fija o estacionaria, el uso de refrigerantes en el equipo producido y almacenado y el uso de refrigerantes en los sistemas de aire acondicionado.

En la tabla X se encuentran los resultados de las emisiones de GEI debidas a la combustión en la maquinaria de la empresa que se denomina combustión fija o estacionaria. En la empresa se utilizan tres distintos combustibles en las maquinarias y estos son: gasolina, diésel y propano. El CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O son GEI emitidos por la quema de dichos combustibles. La tabla mencionada, reporta las emisiones de los tres gases y además la cantidad de CO<sub>2</sub>eq que le corresponde a cada combustible para el 2011.

La figura 2 es la representación gráfica de la tabla X; relaciona a los combustibles con su respectivo valor de emisión de CO<sub>2</sub>eq y proporciona los porcentajes de emisión de cada uno. El diésel y la gasolina contribuyen con estas emisiones en un 11 %, quedando un 78 % restante que corresponde al propano. Esto significa que el propano es el mayor responsable de las emisiones de GEI por combustión fija.

Sin embargo, al observar la tabla VI se ve que el factor de emisión del propano es menor que el de los otros dos combustibles y por lo tanto es menos dañino; por esta razón el propano es el combustible consumido en mayores cantidades por la empresa, que cambió en un gran porcentaje el uso del diésel por propano. Sin la sustitución, se emitiría más GEI por combustión fija.

En la tabla XI figuran los resultados obtenidos de emisiones por combustión móvil, que se refieren al transporte de los empleados hacia y desde la empresa. Los resultados se dividen por los diferentes tipos de vehículo utilizados para el transporte, los gases emitidos son los mismos que los de la combustión en móvil.

En la figura 3 se encuentran los porcentajes de emisión por cada tipo de vehículo; se puede decir luego de la observación del gráfico que las emisiones por autobús son las mayores con un 56 % seguidas por las de los vehículos que usan gasolina como combustible con un 34 %. Las motocicletas contribuyen con apenas un 10 % y los automóviles que usan diésel con un porcentaje despreciable. Para el análisis de emisiones por el uso de energía eléctrica, se tomaron las 3 áreas físicas en las que se divide la empresa que son: bodega 1, bodega 2 (a y b) y bodega 3 (a y b) y se estimó la cantidad que emiten de GEI con base en los kWh consumidos durante el año.

Bodega 1 es el área de producción y según la tabla XII y la figura 4 contribuye en un 50 % al total de emisiones por uso de energía eléctrica. El segundo mayor contribuyentes es la bodega 3b, que se refiere al área administrativa con un 26 % y le siguen las otras áreas con porcentajes menores (ver figura 4).

En cuanto a las emisiones de refrigerantes en la empresa, suceden por manufactura y almacenamiento de equipos de refrigeración y por el uso de aire acondicionado en oficinas. Los refrigerantes utilizados en el proceso de manufactura de los equipos de refrigeración son 3: R-290, R-134 y R-404.

Según la figura 5, se logró establecer que el R-404 es el refrigerante que emite más CO<sub>2</sub>eq; en la tabla XII puede verse que la diferencia en la cantidad de masa liberada a la atmósfera entre el R-404 y los otros dos gases no es significativa, pero su GWP es 3 260, como se advierte en la tabla IX y esto hace que comparando los otros GWP, equivalga a casi el 100 % más toneladas de CO<sub>2</sub>eq que el R-134 y el R-290. Este refrigerante aporta un 91 % del total de emisiones por refrigerantes en el proceso de manufactura de los equipos.

La figura 6 y la tabla XIV revelan que la cantidad de masa de refrigerantes emitidos por el uso de aire acondicionado, está encabezada por las emisiones de la bodega 3, que como ya se dijo, es el área administrativa. En la misma tabla se puede ver que los refrigerantes emitidos son el R-22 y el R-410A.

Al englobar los datos obtenidos de los demás gases utilizando el GWP de cada uno y reportar resultados en cantidades de CO<sub>2</sub>eq, fue posible comparar las emisiones por fuente. La tabla XV proporciona datos de las emisiones globales de la empresa durante el 2011, en función de las 5 fuentes de emisión determinadas.

Se establece que la energía eléctrica es la fuente con mayor aporte al total de emisiones de la empresa con un 43 %, que corresponde a 874,4018 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. La aseveración anterior se respalda con la figura 7, que también revela que la segunda fuente más importante de emisión es la combustión móvil, seguida de la emisión por refrigerantes en el proceso manufacturero, con un 27 % y 24 %, respectivamente. La fuente de menor importancia en cuanto a la cantidad de emisiones se refiere, es la de refrigerantes por el uso de aire acondicionado.

Las fuentes de emisión se clasificaron como directas o indirectas, según el lugar físico en donde se emiten los gases. Las fuentes directas incluyen a la combustión móvil y el uso de refrigerantes para equipos y aire acondicionado, y las fuentes indirectas son el uso de electricidad y el transporte o combustión móvil. La figura 8 indica los porcentajes de cada fuente en las emisiones directas y la figura 9 lo hace para las emisiones indirectas; los datos de ambas gráficas se encuentran en las tablas XVI y XVII.

Examinando la figura 8 es posible aseverar que de las fuentes directas, el uso de refrigerantes en el proceso de producción de los equipos es la más significativa, pues aporta un 75 % de las emisiones, que equivale a 492,2763 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. Por otro lado, los refrigerantes por aire acondicionado que contribuyen con tan solo un 1 % de las emisiones, que corresponde a una cantidad de 3,9162 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. La cantidad emitida por la empresa de manera directa asume un monto de 651,9583 toneladas durante el 2011.

De la figura 9 se puede decir que la energía eléctrica es la mayor de las fuentes indirectas con un 61 % (874,4018 ton CO<sub>2</sub>eq) quedando en segundo lugar el transporte de empleados con un 39 %.

Las emisiones por el uso de la electricidad suceden físicamente en la planta que la produce, pero esas emisiones son responsabilidad del usuario, es decir de la empresa. Según el IPCC, el reporte de las emisiones por transporte de empleados es opcional pero la empresa en estudio quiso reportarlas con el fin de tener un mejor panorama de su aporte al calentamiento global. Un total de 1443,392 toneladas de CO<sub>2</sub>eq fueron enviadas a la atmósfera indirectamente por la empresa en el 2011.

La cantidad total emitida de CO<sub>2</sub>eq por la empresa durante el 2011 fue de 2 095,3503 toneladas. En cuanto al objetivo de detectar fuentes significativas de emisión, se determinó que la fuente de mayor importancia en aporte de emisiones es la energía eléctrica con 874,4018 toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitidas, representando un 43 % del total de emisiones.

La segunda fuente de mayor importancia es el transporte de empleados de ida y venida a la empresa, con un 27 % de contribución a las emisiones, que son 568,9902 toneladas emitidas. En tercer lugar de importancia quedan los refrigerantes enviados al ambiente por fugas durante el proceso de manufactura y almacenamiento de equipos con 492,2763 toneladas emitidas o un 24 %, muy cercano a las emisiones por transporte.

La metodología utilizada quedó registrada en hojas de cálculo de Excel, que permitirá la introducción de datos futuros de la empresa y arrojará resultados de estimación para otros años. Con la estimación de la cantidad de GEI emitidas al ambiente en función de diversos factores, fue posible proponer una serie de acciones para minimizar las emisiones de la empresa.



## CONCLUSIONES

1. El protocolo de GEI propone una metodología de estimación de emisiones de GEI que puede ser aplicada a la industria manufacturera de equipos de refrigeración con datos específicos para Guatemala.
2. La metodología implementada permite estimar las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y gases fluorados de la empresa, debido a sus diversas fuentes y para cada una de las áreas en las que se divide.
3. La fuente más significativa a nivel global de la empresa con un 42 % del total de emisiones es el uso de energía eléctrica; en especial en el área de producción que emite el 50 % de los GEI atribuidos a la electricidad.
4. La fuente que menos contribuye a las emisiones de GEI es el uso de aire acondicionado con un 0.2 % del total global de emisiones durante el año 2011.
5. De las emisiones directas de GEI de la empresa, la fuente más significativa es la de emisiones fugitivas de refrigerantes, representando el 75 % del total de emisiones directas.
6. De las emisiones indirectas de GEI, la más importante es el uso de energía eléctrica, con un 61 % de contribución al total por emisiones indirectas.

7. En el 2011 la empresa emitió al ambiente 2 095,3503 toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

## RECOMENDACIONES

1. Al utilizar la metodología propuesta, se deben actualizar los valores de los factores de emisión pues éstos cambian con el paso del tiempo.
2. Cuidar especialmente las unidades en las que se encuentran los diferentes valores pues un error en este aspecto cambia drásticamente los resultados.
3. Continuar estimando las cantidades de GEI emitidas al ambiente mes tras mes, para facilitar el cálculo anual y para poder medir el grado de reducción logrado luego de aplicar las acciones propuestas.
4. Reducir la cantidad de energía eléctrica utilizada por medio de la concientización de los empleados respecto del uso de la misma, promoviendo el apagar bombillas y aparatos eléctricos cuando no se necesitan, quitando bombillas extras y utilizando bombillas de bajo consumo energético y alto rendimiento en todas las áreas de la empresa.
5. Disminuir las emisiones por transporte fomentando el hecho de compartir vehículo a las personas que viven cerca, utilizar dispositivos de ahorro de combustible en los automóviles y revisar periódicamente los vehículos con el fin de mantenerlos en buen estado y evitar que se disminuya la eficiencia del motor provocando más gases de GEI.

6. Minimizar el uso de aire acondicionado apagando los aparatos eléctricos que no están en uso, pues aparte de consumir energía eléctrica, generan calor y aumentan la necesidad de aire.
7. Programar sesiones periódicas de limpieza y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado para que funcionen de manera óptima y no gasten más energía eléctrica de la que necesitan, y para comprobar que no existan fugas de refrigerantes.
8. Asegurarse de que el sistema de almacenamiento de refrigerantes sea completamente hermético para evitar fugas al ambiente.
9. Analizar el uso de energías alternativas como paneles solares, que a pesar de necesitar inversiones fuertes, a largo plazo suponen ahorro monetario para la empresa y se reduce significativamente la cantidad de GEI emitidos por electricidad.

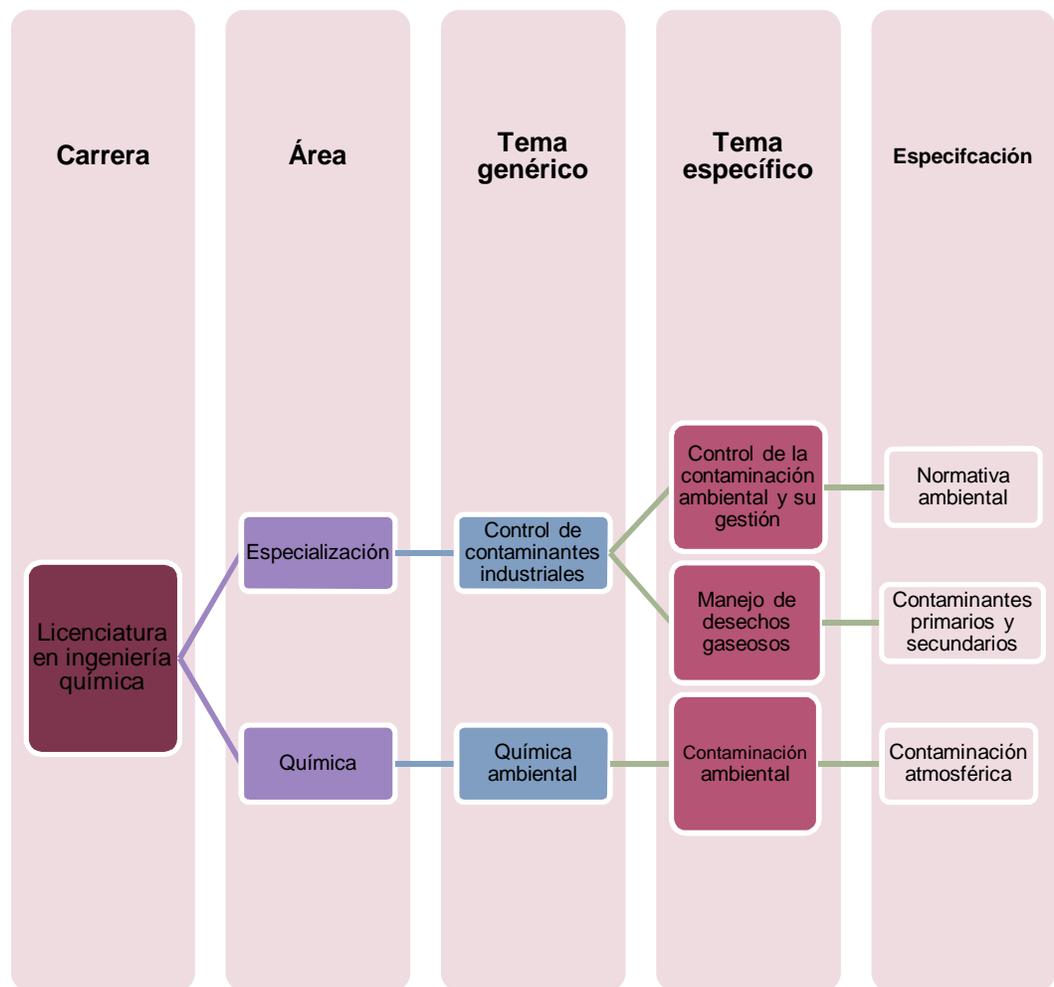
## BIBLIOGRAFÍA

1. CHANG, Raymond. *Química*. 9a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1156 p. ISBN: 978-970-10-6111-4.
2. DOMÉNECH QUESADA, Juan Luis. *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. España: Aenor Ediciones, 2007. 390 p. ISBN: 978-84 - 8143-517-7.
3. EPA. *Climate change indicator in the United States* [en línea]. <[www.epa.gov/climatechange/indicators.html](http://www.epa.gov/climatechange/indicators.html)>. [Consulta: abril de 2012].
4. FORSTER, et al. *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2007. 234 p.
5. GARCÍA ALMIÑANA, Daniel. *Instalaciones de refrigeración y aire acondicionado*. Barcelona: UOC, 2007. 162 p. ISBN: 978-84 - 9788-691-8.
6. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias* 3a ed. México: CECSA, 1998. 1008 p.
7. GLYNN, Henry. *Ingeniería ambiental*. 2a ed. México: Prentice Hall, 1999. 800 p. ISBN: 970-17-0266-2.

8. HOWELL, John R. *Principios de termodinámica para ingeniería*. México: McGraw-Hill, 1990. 713 p. ISBN: 968-422-571-7.
9. IPCC. *Cambio Climático y biodiversidad*. Documento técnico n°5 del IPCC. Ginebra: SBSTTA, 2002. 85 p. ISBN: 92-9169.104-7.
10. MARN. *Política nacional de cambio climático*. Guatemala: Septiembre de 2009. 13 p.
11. McCABE, Warren. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. España: McGraw-Hill, 1998. 1112 p. ISBN: 84-481-1918-5.
12. SMITH, J.M. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 857 p. ISBN: 970-10-1333-6.
13. VIGLIZZO, Ernesto F. *Huella de carbono, ambiente y agricultura en el cono sur de Sudamérica*. Montevideo, Uruguay: PROCISUR IICA, 2010. 41 p.

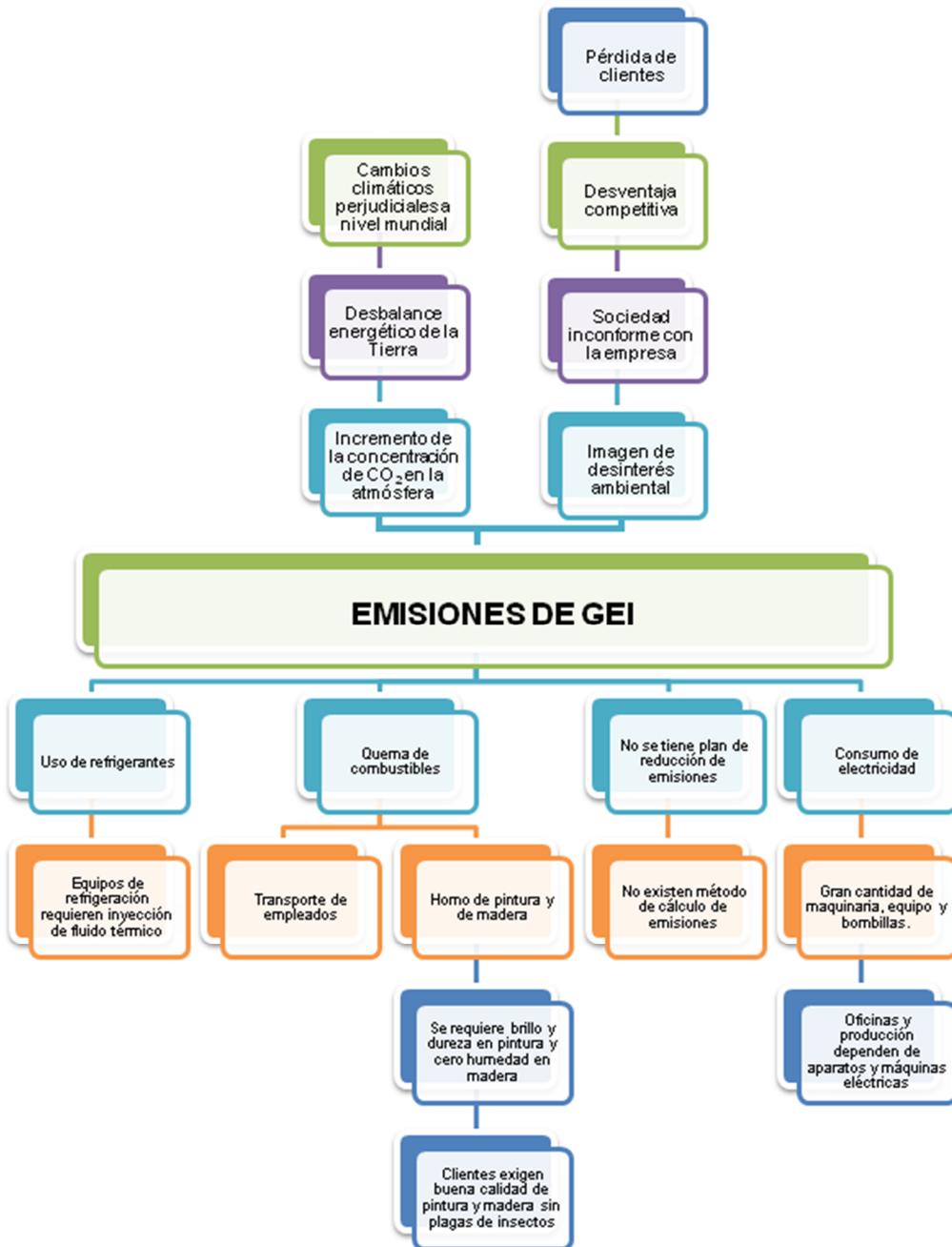
# APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos originales**

Apéndice 3a. **Consumo de energía eléctrica por área**

<b>Mes</b>	<b>Consumo eléctrico en kWh</b>				
	<b>Producción</b>	<b>Bodega 2a</b>	<b>Bodega de 2b</b>	<b>Bodega 3a</b>	<b>Bodega 3b</b>
<b>Enero</b>	95591,12	15769,59	20254,29	38932,90	169,29
<b>Febrero</b>	106131,01	17764,29	25592,38	41722,58	2179,05
<b>Marzo</b>	117099,51	19847,14	35533,33	55583,63	1906,67
<b>Abril</b>	101475,21	18074,47	32212,50	49763,79	3825,00
<b>Mayo</b>	113002,26	16730,89	33813,71	48097,74	5401,21
<b>Junio</b>	95089,58	14905,50	29888,79	48952,42	1614,45
<b>Julio</b>	90312,02	14912,00	26871,67	51018,33	53,68
<b>Agosto</b>	99049,97	16472,00	31589,33	53957,33	3610,67
<b>Septiembre</b>	95041,51	17993,81	32296,50	53640,95	2533,50
<b>Octubre</b>	93120,10	18030,19	27356,47	61127,05	3115,60
<b>Noviembre</b>	106498,27	18168,00	26343,94	65173,33	3876,57
<b>Diciembre</b>	88397,65	18496,52	16327,10	54257,03	1395,32
<b>Total</b>	95591,12	207164,39	338080,00	622227,10	29681,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3b. **Consumo de combustibles por mes**

Descripción	01/2011	02/2011	03/2011	04/2011	05/2011	06/2011	07/2011	08/2011	09/2011	10/2011	11/2011	12/2011	Total
<b>Diésel</b>	173,00	154,00	213,00	90,00	102,00	106,00	127,00	101,00	101,00	144,00	148,00	207,00	1 666,00
<b>Gasolina super</b>	401,00	384,00	198,00	107,00	147,00	109,00	115,00	99,00	122,00	160,00	130,00	85,00	2 057,00
<b>Gas propano</b>	1 087,5	1 530,00	2 217,00	1 595,00	1 895,00	1 627,00	1 637,00	1 905,00	1 760,00	1 510,00	1 700,00	1 315,00	19 778,5
<b>Total</b>	1 661,5	2 068,00	2 628,00	1 792,00	2 144,00	1 842,00	1 879,00	2 105,00	1 983,00	1 814,00	1 978,00	1 607,00	23 501,5

Fuente: elaboración propia (recolección de datos).

Apéndice 3c. **Características de equipos de aire acondicionado en bodegas 1 y 2**

BODEGA 1							
No.	Marca	Modelo	Capacidad del equipo (BTU)	Consumo eléctrico	Tipo de refrigerante	Carga (kg)	Tipo
1	RHEEM	RAKA-018JAZ	18,000	220V 11 A 1 F	R-22	1.3041	Mini Split
2	PERFORMANCE SERIES	NACO48AKA1	48,000	208/230V 18.3 A 1F	R-22	3.0618	
3	GOODMAN	RC08090A1D	8,000	115V 8A 1F	R-22	0.0201285	Ventana
4	YORK	Y4US10-2R1	10,000	115V 9.4A 1F	R-22	0.496125	Ventana
5	FEDDERS	A1L24E7B	23,500	220V 13A 1F	R-22	1.1907	
6	YORK	H3CE120A25A	120,000	208/230V 51.8A 3F	R-22	0	Split
7	YORK	H3CE120A25A	120,000	208/230V 51.8A 3F	R-22	0	Split
8	PERFORMANCE SERIES	NACO60AKA1	60,000	220V 33.2A 1F	R-22	3.6855	
9	MULTIZONE	H13C2MR43	13,000	208/230V 5.44A 1F	R-22	0.7938	
10	YORK	TLDA24FS-ADR-1	24,000	220V 10.5A 1F	R-22	0.879984	
11	YORK	TLDA18FS-ADR	18,000	220V 9.6A 1F	R-22	1.050084	
12	PREMIUM COOL	MRA60CRZ8	6,000	208/220 29A 1F	R-22	2.999997	
13	FEDDERS	A1L24E7B	23,500	220V 13A 1F	R-22	1.1907	
14	LG	6242CA	24,000	220V 10.4A 1F	R-22	1.160082	
15	GOODMAN	CCH024CD	22,000	220V 9.5A 1F	R-22	2.0000925	
16	GOODMAN	RC08090A1D	8,000	115V 8A 1F	R-22	0.0201285	Ventana
17	ZAMIL	CCB2CXBW	18,000	220V 14.4A 1F	R-22	1.105083	Ventana
18	YORK	10CUSC08-25	8,000	115V 7.6A 1F	R-22	0.479115	Ventana
BODEGA 2							
19	FUJI ELECTRIC	RKS-9AA	9,000	110V 8.9A 1F	R-22	0.580041	Ventana

Fuente: elaboración propia (recolección de datos).

Apéndice 3d. **Características de equipos de aire acondicionado en bodega 3**

BODEGA 3							
20	TRANE	TTR036C100A2	36,000	240V 25A 1F	R-22	2.4701355	Split
21	TRANE	MCD518D100BA	18,000	240V 10.1A 1F	R-22	1.900017	Fan Cool
22	TRANE	MCD518D100BA	18,000	240V 10.1A 1F	R-22	1.900017	Fan Cool
23	TRANE	TTB024	24,000	208/230V 12A 1F	R-22	1.6400475	Split
24	TRANE	TW60A150A0	60,000	208/230V 38A 1F	R-22	3.7101645	Split
25	SIN MARCA	KF-516WBA	16,000	220V 8.6 A 1F	R-22	1.050084	Mini Split de pared
26	TRANE	TW6048A140B1	48,000	240V 30A 1F	R-22	2.3247	Split
27	CARRIER	38CK-060-3D	60,000	208/230V 28.9A 1F	R-22	4.4793	
28	CARRIER	38CK-060-3D	60,000	208/230V 28.9A 1F	R-22	4.4793	
29	GOODMAN	CK18-1B	18,000	208/230V 12.5 A 1F	R-22	1.67265	Mini Split de techo
30	SIN MARCA	KF-32W	32,000	220V 5.3A 1F	R-22	3.6999585	Mini Split
31	SIN MARCA	KF-32W	32,000	220V 5.3A 1F	R-22	3.6999585	Mini Split
32	TRANE	TTBO36C100A1	36,000	220V 22A 1F	R-22	2.5500825	Split
33	TRANE	TTBO36C100A1	36,000	220V 22A 1F	R-22	2.5500825	Split
34	TRANE	TTBO18C100A2	18,000	220V 11 A 1 F	R-22	1.3298985	
35	TRANE	TTBO12C100A0	12,000	200/230V 11A 1F	R-22	1.2499515	
36	TRANE	TTB0060A1000CA	60,000	220V 35A 1F	R-22	3.5721	
37	YORK	AC036X10316	36,000	208/230V 15 A 3F	R-22	1.78605	
38	YORK	YXDA36FS-AEA	36,000	208/230V 12.4 A 3F	R-22	1.78605	
39	YORK	AC036X1024A	36,000	220V 21.5A 1F	R-22	1.78605	
40	MAYER	UCA-27	27,000	220V 13.7A 1F	R-22	1.27575	
41	SIN MARCA	F24K2	24,000	208/230V 11.5 A 1F	R-22	1.039878	
42	AMANA	AAC081STA	8,000	110V 7.9A 1F	R-22	0.73143	Ventana
43	SIN MARCA	RFS16W	16,000	220V 9.8A 1F	R-22	1.600074	
44	PIONEER	AD036GBA-E2	36,000	208/230V 22.7 A 1F	R-22	2.1546	
45	YORK	TLDA24FS-ADR-1	24,000	220V 10.5A 1F	R-22	0.879984	

Fuente: elaboración propia (recolección de datos).

Apéndice 3e. Recuperación de refrigerantes

REGISTRO PARA RECLAMADO DE GAS REFRIGERANTE

TARA DEL CILINDRO R-404  TARA DEL CILINDRO R-134 17.2

Tipo de Refrigerante	PESO FINAL DE CILINDRO	REFRIGERANTE RECLAMADO	Fecha de Reclamado	No. De Cilindro de Destino
R-134a	29.2	12	22-2-10	
R-134a	36	19	24-3-10	
R-134a	36	13	22-4-10	
R-134a	26	9	22-4-10	
R-134a	36	19	13-8-10	
R-134a	19	2	13-8-10	
R-134a	37	19	21-10-10	
R-134a	41.5	24	25-2-11	
R-134a	34	16	28-6-11	
R-134a	40.5	23	28-6-11	
R-134a	28	11	29-8-11	
R-134a	38	20.5	12-11-11	
R-134a	22.5	5	12-11-11	
R-134a	24.5	7	14-12-11	Solo "E"
R-134a	64.68	14.18	21-2-12	
		(16)		

Fuente: elaboración propia (recolección de datos).

Apéndice 3f. **Inventario de entradas y salidas de refrigerantes**

<b>Tipo de refrigerante</b>	<b>Inventario inicio del año (lb)</b>	<b>Compras (lb)</b>	<b>Ventas (lb)</b>	<b>Recuperación (lb)</b>	<b>Consumo (lb)</b>	<b>Inventario fin del año (lb)</b>
R-290	166,36	400,00		0,00	51,68	435,00
R-134	10 545,52	98 752,87	1 530,00	260,88	67 438,68	40 514,20
R-404	875,50	3 000,00		0,00	2 674,13	899,00

Fuente: elaboración propia (recolección de datos).

#### Apéndice 4. Datos calculados

Para el cálculo de combustión estacionaria:

#### Apéndice 4a. Emisiones mensuales de diésel

Mes	DIÉSEL				
	Consumo (gal)	Consumo (l)	Emisión de CO <sub>2</sub> (ton)	Emisión de CH <sub>4</sub> (ton)	Emisión de N <sub>2</sub> O (ton)
Enero	173,00	654,88	1,75	2,3654E-04	1,4192E-05
Febrero	154,00	582,95	1,56	2,1056E-04	1,2634E-05
Marzo	213,00	806,29	2,16	2,9123E-04	1,7474E-05
Abril	90,00	340,69	0,91	1,2306E-04	7,3834E-06
Mayo	102,00	386,11	1,03	1,3946E-04	8,3678E-06
Junio	106,00	401,25	1,07	1,4493E-04	8,6960E-06
Julio	127,00	480,75	1,29	1,7365E-04	1,0419E-05
Agosto	101,00	382,33	1,02	1,3810E-04	8,2858E-06
Septiembre	101,00	382,33	1,02	1,3810E-04	8,2858E-06
Octubre	144,00	545,10	1,46	1,9689E-04	1,1813E-05
Noviembre	148,00	560,24	1,50	2,0236E-04	1,2142E-05
Diciembre	207,00	783,58	2,10	2,8303E-04	1,6982E-05
<b>Total</b>	<b>1 666,00</b>	<b>6 306,50</b>	<b>16,88</b>	<b>2,2779E-03</b>	<b>1,3667E-04</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4b. **Emissiones mensuales de gasolina**

Mes	GASOLINA				
	Consumo (gal)	Consumo (l)	Emisión de CO <sub>2</sub> (ton)	Emisión de CH <sub>4</sub> (ton)	Emisión de N <sub>2</sub> O (ton)
<b>Enero</b>	401,00	1 517,95	3,4500	4,9761E-04	2,9857E-05
<b>Febrero</b>	384,00	1 453,60	3,3000	4,7652E-04	2,8591E-05
<b>Marzo</b>	198,00	749,51	1,7000	2,4570E-04	1,4742E-05
<b>Abril</b>	107,00	405,04	0,9200	1,3278E-04	7,9668E-06
<b>Mayo</b>	147,00	556,46	1,2600	1,8242E-04	1,0945E-05
<b>Junio</b>	109,00	412,61	0,9400	1,3526E-04	8,1157E-06
<b>Julio</b>	115,00	435,32	0,9900	1,4271E-04	8,5624E-06
<b>Agosto</b>	99,00	374,76	0,8500	1,2285E-04	7,3711E-06
<b>Septiembre</b>	122,00	461,82	1,0500	1,5139E-04	9,0836E-06
<b>Octubre</b>	160,00	605,67	1,3800	1,9855E-04	1,1913E-05
<b>Noviembre</b>	130,00	492,10	1,1200	1,6132E-04	9,6793E-06
<b>Diciembre</b>	85,00	321,76	0,7300	1,0548E-04	6,3288E-06
<b>Total</b>	<b>2 057,00</b>	<b>7 786,59</b>	<b>17,6900</b>	<b>2,5526E-03</b>	<b>1,5316E-04</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4c. **Emisiones anuales de propano**

Mes	PROPANO				
	Consumo (gal)	Consumo (l)	Emisión de CO <sub>2</sub> (ton)	Emisión de CH <sub>4</sub> (ton)	Emisión de N <sub>2</sub> O (ton)
<b>Enero</b>	1 088	4 116,64	6,6400	5,2574E-04	1,0515E-05
<b>Febrero</b>	1 530	5 791,68	9,3400	7,3966E-04	1,4793E-05
<b>Marzo</b>	2 217	8 392,26	13,5300	1,0718E-03	2,1436E-05
<b>Abril</b>	1 595	6 037,73	9,7300	7,7108E-04	1,5422E-05
<b>Mayo</b>	1 895	7 173,36	11,5600	9,1611E-04	1,8322E-05
<b>Junio</b>	1 627	6 158,86	9,9300	7,8655E-04	1,5731E-05
<b>Julio</b>	1 637	6 196,72	9,9900	7,9138E-04	1,5828E-05
<b>Agosto</b>	1 905	7 211,21	11,6200	9,2094E-04	1,8419E-05
<b>Septiembre</b>	1 760	6 662,32	10,7400	8,5085E-04	1,7017E-05
<b>Octubre</b>	1 510	5 715,97	9,2100	7,2999E-04	1,4600E-05
<b>Noviembre</b>	1 700	6 435,20	10,3700	8,2184E-04	1,6437E-05
<b>Diciembre</b>	1 315	4 977,82	8,0200	6,3572E-04	1,2714E-05
<b>Total</b>	<b>19 779</b>	<b>74 869,77</b>	<b>120,6900</b>	<b>9,5616E-03</b>	<b>1,9123E-04</b>

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de combustión móvil:

Apéndice 4d. **Emisiones de CO<sub>2</sub> por transporte de los trabajadores que viven en la ciudad de Guatemala**

GUATEMALA							
ZONA	DISTANCIA (km)	TIPO DE TRANSPORTE	TIPO DE COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN (TON CO <sub>2</sub> /Km)	NÚMERO DE TRABAJADORES	VECES QUE VIAJA (DÍAS)	EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> (TON)
1	9,55	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
		Bus	Diésel	0,000066	2	312	0,39
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
3	8,31	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,62
		Bus	Diésel	0,000066	7	312	1,20
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
4 Y 5	12,80	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,96
		Bus	Diésel	0,000066	8	312	2,11
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	3	312	1,56
6	18,70	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	3	312	4,20
		Bus	Diésel	0,000066	2	312	0,77
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
7	5,85	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	3	312	1,31
		Bus	Diésel	0,000066	28	312	3,37
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	2	312	0,47
8	8,10	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
		Bus	Diésel	0,000066	3	312	0,50
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
9 Y 10	12,40	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	3	312	2,79
		Bus	Diésel	0,000066	3	312	0,77
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
11	6,54	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,49
		Bus	Diésel	0,000066	7	312	0,94
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00

Continuación de apéndice 4d.

12	10.39	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	2	312	1.56
		Bus	Diésel	0.000066	6	312	1.28
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	0	312	0.00
13	11.45	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	0	312	0.00
		Bus	Diésel	0.000066	2	312	0.47
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	0	312	0.00
15 y 16	19.42	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	1	312	1.45
		Bus	Diésel	0.000066	4	312	1.60
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	0	312	0.00
17	20.55	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	2	312	3.08
		Bus	Diésel	0.000066	3	312	1.27
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	1	312	0.83
18	20.74	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	5	312	7.77
		Bus	Diésel	0.000066	13	312	5.55
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	1	312	0.84
19	2.52	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	1	312	0.19
		Bus	Diésel	0.000066	34	312	1.76
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	1	312	0.10
21, 24 y 25	22.04	Automóvil	Diésel	0.000280	0	312	0.00
			Gasolina	0.000240	1	312	1.65
		Bus	Diésel	0.000066	6	312	2.72
		Motocicleta	Gasolina	0.000130	0	312	0.00
<b>TOTALES</b>					160		54.59

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4e. **Emissiones de CO<sub>2</sub> por transporte de los trabajadores que viven en el municipio de Mixco, Guatemala**

MIXCO							
ZONA	DISTANCIA (km)	TIPO DE TRANSPORTE	TIPO DE COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN (TON CO <sub>2</sub> /Km)	NÚMERO DE TRABAJADORES	VECES QUE VIAJA (DÍAS)	EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> (TON)
1	4,32	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	3	312	0,97
		Bus	Diésel	0,000066	38	312	3,38
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	2	312
2	4,03	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
		Bus	Diésel	0,000066	4	312	0,33
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312
3	1,56	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	2	312	0,23
		Bus	Diésel	0,000066	15	312	0,48
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312
4	3,77	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	5	312	1,41
		Bus	Diésel	0,000066	20	312	1,55
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312
5	3,30	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,25
		Bus	Diésel	0,000066	8	312	0,54
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	1	312
6	5,06	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	10	312	3,79
		Bus	Diésel	0,000066	125	312	13,02
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	9	312
7	2,92	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,22
		Bus	Diésel	0,000066	139	312	8,36
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	4	312
8	11,55	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	6	312	5,19
		Bus	Diésel	0,000066	4	312	0,95
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	1	312
9	10,00	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,75
		Bus	Diésel	0,000066	23	312	4,74
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	4	312
10	6,73	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	3	312	1,51
		Bus	Diésel	0,000066	37	312	5,13
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	5	312
11	6,37	Automóvil	Diésel	0,000280	1	312	0,56
			Gasolina	0,000240	1	312	0,48
		Bus	Diésel	0,000066	19	312	2,49
			Motocicleta	Gasolina	0,000130	3	312

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4f. **Emisiones de CO<sub>2</sub> por transporte de los trabajadores que viven en otros municipios de Guatemala**

OTROS MUNICIPIOS							
MUNICIPIO	DISTANCIA (km)	TIPO DE TRANSPORTE	TIPO DE COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN (TON CO <sub>2</sub> /Km)	NÚMERO DE TRABAJADORES	VECES QUE VIAJA (DÍAS)	EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> (TON)
AMATITLÁN	28,50	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	2	312	4,27
		Bus	Diésel	0,000066	0	312	0,00
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
CHINAUTLA	18,33	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	1,37
		Bus	Diésel	0,000066	23	312	8,68
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	8	312	5,95
SAN JOSÉ PINULA	28,40	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	2,13
		Bus	Diésel	0,000066	0	312	0,00
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
SAN JUAN SACATEPÉQUEZ	19,14	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	2	312	2,87
		Bus	Diésel	0,000066	70	312	27,59
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	11	312	8,54
SAN MIGUEL PETAPA	10,50	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	0,79
		Bus	Diésel	0,000066	2	312	0,43
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
SAN PEDRO AYAMPUC	28,00	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
		Bus	Diésel	0,000066	2	312	1,15
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ	14,80	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
		Bus	Diésel	0,000066	27	312	8,23
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	1	312	0,60
SAN RAYMUNDO	25,40	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
		Bus	Diésel	0,000066	1	312	0,52
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
SANTA CATARINA PINULA	23,64	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	6	312	10,62
		Bus	Diésel	0,000066	3	312	1,46
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	2	312	1,92

Continuación de apéndice 4f.

VILLA CANALES	24,50	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	1,83
		Bus	Diésel	0,000066	6	312	3,03
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
VILLA NUEVA	18,49	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	16	312	22,15
		Bus	Diésel	0,000066	67	312	25,51
		Motocicleta	Gasolina	0,000130	1	312	0,75

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4g. **Emissiones CO<sub>2</sub> por transporte de los trabajadores que viven en otros departamentos**

OTROS DEPARTAMENTOS							
DEPARTAMENTO	DISTANCIA (km)	TIPO DE TRANSPORTE	TIPO DE COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN (TON CO <sub>2</sub> /Km)	NUMERO DE TRABAJADORES	VECES QUE VIAJA (DIAS)	EMISION DE CO <sub>2</sub> (TON)
CHIMALTENANGO	41,90	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	2	312	6,27
	52,66	Bus	Diésel	0,000066	14	312	12,08
	52,66	Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
ESCUINTLA	40,40	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	0	312	0,00
	40,40	Bus	Diésel	0,000066	1	312	0,83
	40,40	Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00
SACATEPÉQUEZ	17,60	Automóvil	Diésel	0,000280	0	312	0,00
			Gasolina	0,000240	1	312	1,32
	24,45	Bus	Diésel	0,000066	12	312	4,35
	24,45	Motocicleta	Gasolina	0,000130	0	312	0,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4h. **Emisiones de CO<sub>2</sub> por transporte de trabajadores**

EMISIONES DE CO <sub>2</sub> POR TRANSPORTE DE EMPLEADOS 2011 (TONCO <sub>2</sub> )					
TIPO DE TRANSPORTE	GUATEMALA	MIXCO	MUNICIPIOS	DEPARTAMENTOS	Totales por tipo de transporte
AUTOMÓVIL DIÉSEL	0,0000	1,1122	0,0000	0,0000	1,1122
AUTOMÓVIL GASOLINA	52,1255	29,5941	92,0562	15,1857	188,9614
BUS	49,4315	81,9603	153,2114	34,5204	319,1236
MOTOCICLETA	7,6180	14,0719	35,5111	0,0000	57,2010
<b>Totales por área</b>	<b>109,1750</b>	<b>126,7384</b>	<b>280,7787</b>	<b>49,7061</b>	<b>566,3981</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4i. **Emisiones de CH<sub>4</sub> por transporte de trabajadores**

EMISIONES DE CH <sub>4</sub> POR TRANSPORTE DE EMPLEADOS 2011 (TONCH <sub>4</sub> )					
TIPO DE TRANSPORTE	GUATEMALA	MIXCO	MUNICIPIOS	DEPARTAMENTOS	Totales por tipo de transporte
AUTOMÓVIL DIÉSEL	0,0000E+00	2,4689E-03	0,0000E+00	0,0000E+00	2,4689E-03
AUTOMÓVIL GASOLINA	1,0657E-03	6,0505E-04	1,8821E-03	3,1047E-04	3,8633E-03
BUS	2,3260E-04	3,8566E-04	7,2093E-04	1,6243E-04	1,5016E-03
MOTOCICLETA	2,5478E-04	4,7063E-04	1,1877E-03	0,0000E+00	1,9131E-03
<b>Totales por área</b>	<b>1,5531E-03</b>	<b>3,9302E-03</b>	<b>3,7907E-03</b>	<b>4,7291E-04</b>	<b>9,7469E-03</b>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4j. **Emisiones de N<sub>2</sub>O por transporte de trabajadores**

EMISIONES DE N2O POR TRANSPORTE DE EMPLEADOS 2011 (TON N2O)					
TIPO DE TRANSPORTE	GUATEMALA	MIXCO	MUNICIPIOS	DEPARTAMENTOS	Totales por tipo de transporte
AUTOMÓVIL DIÉSEL	0,0000E+00	2,4689E-03	0,0000E+00	0,0000E+00	2,4689E-03
AUTOMÓVIL GASOLINA	1,0657E-03	6,0505E-04	1,8821E-03	3,1047E-04	3,8633E-03
BUS	2,3260E-04	3,8566E-04	7,2093E-04	1,6243E-04	1,5016E-03
MOTOCICLETA	2,5478E-04	4,7063E-04	1,1877E-03	0,0000E+00	1,9131E-03
<b>Totales por área</b>	1,5531E-03	3,9302E-03	3,7907E-03	4,7291E-04	9,7469E-03

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de emisiones por uso de electricidad:

Apéndice 4k. **Emisiones de CO<sub>2</sub> por uso de energía eléctrica**

Mes	Emisiones de CO <sub>2</sub> por área (Ton)					
	Producción	Bodega 2a	Bodega 2b	Bodega 3a	Bodega 3b	Total
<b>Enero</b>	33,3613	5,5036	7,0687	13,5876	0,0591	59,5803
<b>Febrero</b>	37,0397	6,1997	8,9317	14,5612	0,7605	67,4929
<b>Marzo</b>	40,8677	6,9267	12,4011	19,3987	0,6654	80,2596
<b>Abril</b>	35,4148	6,3080	11,2422	17,3676	1,3349	71,6675
<b>Mayo</b>	39,4378	5,8391	11,8010	16,7861	1,8850	75,7490
<b>Junio</b>	33,1863	5,2020	10,4312	17,0844	0,5634	66,4673
<b>Julio</b>	31,5189	5,2043	9,3782	17,8054	0,0187	63,9255
<b>Agosto</b>	34,5684	5,7487	11,0247	18,8311	1,2601	71,4331
<b>Septiembre</b>	33,1695	6,2798	11,2715	18,7207	0,8842	70,3257
<b>Octubre</b>	32,4989	6,2925	9,5474	21,3333	1,0873	70,7595
<b>Noviembre</b>	37,1679	6,3406	9,1940	22,7455	1,3529	76,8010
<b>Diciembre</b>	30,8508	6,4553	5,6982	18,9357	0,4870	62,4269
<b>Total</b>	419,0821	72,3004	117,9899	217,1573	10,3587	836,8883

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4I. **Emisiones de CH<sub>4</sub> por uso de energía eléctrica**

Mes	Emisiones de CH <sub>4</sub> por área (Ton)					
	Producción	Bodega 2a	Bodega 2b	Bodega 3a	Bodega 3b	Total
<b>Enero</b>	1,1693E-03	1,9289E-04	2,4775E-04	4,7623E-04	2,0707E-06	2,0882E-03
<b>Febrero</b>	1,2982E-03	2,1729E-04	3,1305E-04	5,1035E-04	2,6654E-05	2,3655E-03
<b>Marzo</b>	1,4324E-03	2,4277E-04	4,3464E-04	6,7990E-04	2,3322E-05	2,8130E-03
<b>Abril</b>	1,2412E-03	2,2109E-04	3,9402E-04	6,0871E-04	4,6787E-05	2,5119E-03
<b>Mayo</b>	1,3822E-03	2,0465E-04	4,1361E-04	5,8833E-04	6,6068E-05	2,6549E-03
<b>Junio</b>	1,1631E-03	1,8232E-04	3,6560E-04	5,9879E-04	1,9748E-05	2,3296E-03
<b>Julio</b>	1,1047E-03	1,8240E-04	3,2869E-04	6,2406E-04	6,5658E-07	2,2405E-03
<b>Agosto</b>	1,2116E-03	2,0149E-04	3,8640E-04	6,6001E-04	4,4166E-05	2,5036E-03
<b>Septiembre</b>	1,1625E-03	2,2010E-04	3,9505E-04	6,5614E-04	3,0990E-05	2,4648E-03
<b>Octubre</b>	1,1390E-03	2,2055E-04	3,3462E-04	7,4771E-04	3,8110E-05	2,4800E-03
<b>Noviembre</b>	1,3027E-03	2,2223E-04	3,2224E-04	7,9720E-04	4,7418E-05	2,6918E-03
<b>Diciembre</b>	1,0813E-03	2,2625E-04	1,9971E-04	6,6367E-04	1,7068E-05	2,1880E-03
<b>Total</b>	1,4688E-02	2,5340E-03	4,1354E-03	7,6111E-03	3,6306E-04	2,9332E-02

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4m. **Emisiones de N<sub>2</sub>O por uso de energía eléctrica**

Mes	Emisiones de N <sub>2</sub> O por área (Ton)					
	Producción	Bodega 2a	Bodega 2b	Bodega 3 <sup>a</sup>	Bodega 3b	Total
<b>Enero</b>	49199E-03	8,1163E-04	1,0424E-03	2,038E-03	8,7128E-06	8,7864E-03
<b>Febrero</b>	5,4623E-03	9,1429E-04	1,3172E-03	2,1474E-03	1,1215E-04	9,9533E-03
<b>Marzo</b>	6,0269E-03	1,0215E-03	1,8288E-03	2,8608E-03	9,8132E-05	1,1836E-02
<b>Abril</b>	5,2227E-03	9,3025E-04	1,6579E-03	2,5612E-03	1,9686E-04	1,0569E-02
<b>Mayo</b>	5,8160E-03	8,6110E-04	1,7403E-03	2,4755E-03	2,7799E-04	1,1171E-02
<b>Junio</b>	4,8941E-03	7,6715E-04	1,5383E-03	2,5195E-03	8,3092E-05	9,8021E-03
<b>Julio</b>	4,6482E-03	7,6749E-04	1,3830E-03	2,6258E-03	2,7626E-06	9,4272E-03
<b>Agosto</b>	5,0979E-03	8,4778E-04	1,6258E-03	2,7771E-03	1,8583E-04	1,0534E-02
<b>Septiembre</b>	4,8916E-03	9,2610E-04	1,6622E-03	2,7608E-03	1,3039E-04	1,0371E-02
<b>Octubre</b>	4,7927E-03	9,2797E-04	1,4080E-03	3,1461E-03	1,6035E-04	1,0435E-02
<b>Noviembre</b>	5,4812E-03	9,3507E-04	1,3559E-03	3,3543E-03	1,9952E-04	1,1326E-02
<b>Diciembre</b>	4,5496E-03	9,5197E-04	8,4032E-04	2,7925E-03	7,1814E-05	9,2062E-03
<b>Total</b>	6,1803E-02	1,0662E-02	1,7400E-02	2,0038E-03	1,5276E-03	1,2342E-01

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de emisión de refrigerantes por fugas en el proceso de manufactura de los equipos:

**Apéndice 4n. Emisiones de CO<sub>2</sub> eq por refrigerantes en proceso de manufactura**

Tipo de refrigerante	Emisión de refrigerantes (lb)	Emisión de refrigerantes (ton)	GWP	Emisión de co2 (ton)
R-290	79,6761	0,0361	3,0000	0,1084
R-134	76,3900	0,0347	1300,0000	45,0454
R-404	302,3700	0,1372	3260,0000	447,1225

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 4ñ. Emisiones de CO<sub>2</sub> eq por refrigerantes en uso de aire acondicionado**

MODELO DEL EQUIPO	NUMERO DE UNIDADES	TIPO DE REFRIGERANTE QUE UTILIZA	GWP DEL REFRIGERANTE	CARGA INICIAL (KG)	EMISIONES (ton R/año)	EMISIONES (KG CO2eq/año)	EMISIONES (ton CO2eq/año)
MRA60CRZ8	1	R-22	1 810	3,00	9,0000E-05	162,90	0,1629
A1L24E7B	2	R-22	1 810	1,19	7,1442E-05	129,31	0,1293
RC08090A1D	2	R-22	1 810	0,02	1,2077E-06	2,19	0,0022
CCH024CD	1	R-22	1 810	2,00	6,0000E-05	108,60	0,1086
6242CA	1	R-22	1 810	1,16	3,4800E-05	62,99	0,0630
H13C2MR43	1	R-22	1 810	0,79	2,3814E-05	43,10	0,0431
Y4US10-2R1	1	R-22	1 810	0,50	1,4884E-05	26,94	0,0269
H3CE120A25A	2	R-22	1 810	4,40	2,6400E-04	477,84	0,4778
TLDA24FS-ADR-1	1	R-22	1 810	0,88	2,6400E-05	47,78	0,0478
TLDA18FS-ADR	1	R-22	1 810	1,05	3,1503E-05	57,02	0,0570
10CUSC08-25	1	R-22	1 810	0,48	1,4373E-05	26,02	0,0260
CCB2CXBW	1	R-22	1 810	1,11	3,3150E-05	60,00	0,0600

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4o. **Dióxido de carbono equivalente para transporte**

<b>Tipo de transporte</b>	<b>Emisiones de GEI (Ton/año)</b>			
	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2eq</sub></b>
Vehículo diesel	0,5561	2,4689E-03	2,4689E-03	1,3535331
Vehículo gasolina	188,9614	3,8633E-03	3,8633E-03	190,20922
Motocicleta	57,2010	1,5016E-03	1,5016E-03	57,685981
Autobús	319,1236	1,9131E-03	1,9131E-03	319,74156

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4p. **Dióxido de carbono equivalente para combustibles**

<b>Combustible</b>	<b>ton CO<sub>2</sub> eq</b>
Diésel	16,9800
Gasolina	17,8000
Propano	120,9900
Total	155,7700

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. **Fuentes de datos utilizados en el proceso de estimación**

Las herramientas del protocolo de GEI utilizada se encuentran en la dirección de internet siguiente:

<http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/refrigeration>

Las herramientas ofrecen factores de emisión para cada una de las fuentes de emisión detectadas.

### **Emisiones por electricidad**

Para el factor de emisión por electricidad, el protocolo de GEI ofrece factores muy generalizados y recomienda buscar un dato específico para el país, pues este factor varía de un país a otro debido a la diferencia en el proceso de generación de energía. El combustible utilizado o la mezcla de combustibles que se utilizan definen el valor del factor.

La tabla que se observa en la tabla siguiente proporciona el factor de emisión específico para Guatemala y más actualizado (2009), proporcionado por la Agencia Internacional de Energía, en la página 111 del documento "*CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion*" de la serie IEA STATISTICS, edición 2011. Este dato es válido hasta septiembre de 2012.

Apéndice 5a. **Factores de emisión de CO<sub>2</sub> por electricidad para diferentes países**

CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION *Highlights* (2011 Edition) - 111

**CO<sub>2</sub> emissions per kWh from electricity and heat generation**

(grammes CO<sub>2</sub> / kilowatt hour)

	1990	1995	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Average 07-09
Argentina	..	273	338	258	275	308	313	311	352	366	355	358
Bolivia	..	400	314	259	318	295	329	326	334	375	393	368
Brazil	..	55	88	85	79	85	84	81	73	89	64	75
Colombia	..	205	160	154	152	117	131	127	127	107	175	136
Costa Rica	..	155	8	15	19	7	26	47	72	63	40	58
Cuba	..	870	678	772	794	800	813	752	734	719	752	735
Dominican Republic	..	876	759	675	700	704	649	668	675	634	591	633
Ecuador	..	314	215	281	299	313	391	455	345	267	290	301
El Salvador	..	391	324	356	340	316	362	361	319	274	319	304
Guatemala	..	306	392	484	435	323	299	345	369	343	349	354
Haiti	..	327	346	399	320	301	307	305	511	480	547	513
Honduras	..	326	281	287	352	452	412	267	418	409	344	391
Jamaica	..	888	824	806	822	618	572	400	400	491	544	478
Netherlands Antilles	..	714	714	714	714	713	711	710	708	707	707	707
Nicaragua	..	508	614	568	543	536	481	522	533	480	506	506
Panama	..	317	231	270	356	266	275	310	317	273	302	297
Paraguay	..	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peru	..	186	154	146	152	212	209	183	199	240	236	225
Trinidad and Tobago	..	711	685	767	753	751	759	753	753	704	719	725
Uruguay	..	53	57	4	2	151	103	296	104	307	253	221
Venezuela	..	219	191	266	265	222	208	222	207	203	199	203
Other Latin America	..	213	207	221	224	215	214	222	226	250	249	242
Latin America	..	167	173	179	180	178	178	178	176	184	175	178

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

Fuente: Agencia Internacional de Energía. *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion*, p. 111.

**Datos para combustión estacionaria**

Los datos para combustión estacionaria se obtuvieron del protocolo de GEI que utiliza valores dados por el IPCC. La tabla que se incluye a continuación es la que proporciona el protocolo para combustión estacionaria en la herramienta "emission factors from cross-sector tools" que se encuentra en la dirección siguiente: <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>.

**Table 1. CO2 emission factors by Fuel**

Fuel	Lower heating Value TJ/Gg	CO <sub>2</sub> emission factors for fuel consumption data that have been supplied on different measurement bases				Fuel density information <sup>1</sup>	
		Energy basis kg/TJ	Mass basis kg/tonne	Of liquids (kg/litre fuel)	Of gases (kg/m <sup>3</sup> of fuel)	Liquid basis kg/ litre	Gas basis kg/m <sup>3</sup>
Oil Crude oil	42.3	73300	3100.59	0.8	2.460472		
Orniumison	27.5	77000	2117.5				
Natural Gas Liquids	44.2	64200	2837.64				
Motor gasoline	44.3	69300	3069.99	0.74	2.2717926		
Aviation gasoline	44.3	70000	3101	0.71	2.20171		
Jet gasoline	44.3	70000	3101	0.71	2.20171		
Jet kerosene	44.1	71500	3153.15	0.79	2.4909885		
Other kerosene	43.8	71900	3149.22	0.8	2.519376		
Shale oil	38.1	73300	2792.73	1	2.79273		
Gas/Diesel oil	43	74100	3186.3	0.84	2.676492		
Residual fuel oil	40.4	77400	3126.96	0.94	2.9393424		
Liquidified Petroleum Gases	47.3	63100	2984.63	0.54	1.6117002		
Ethane	46.4	61600	2858.24		1.3		
Naphtha	44.5	73300	3261.85	0.77	2.5116245		
Bitumen	40.2	80700	3244.14				
Lubricants	40.2	73300	2946.66	1	2.94666		
Petroleum coke	32.5	97500	3168.75				
Refinery feedstocks	43	73300	3151.9				
Refinery gas	49.5	57600	2851.2				
Paraffin waxes	40.2	73300	2946.66				
White Spirit/SBP	40.2	73300	2946.66				
Other petroleum products	40.2	73300	2946.66				

These emission factors are cross-sector, that is, they can be used by reporting entities from any sector, such as the manufacturing, energy or institutional in Not 1. Fuel density data come from GHG Protocol's tool for stationary combustion

Fuente: <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>. Consulta: abril de 2012

El protocolo de GEI reporta como fuente de estos datos la siguiente información: IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

## Datos para los refrigerantes

Las tablas que se presentan a continuación son las que proporciona el protocolo de GEI para GWP de refrigerantes en la herramienta *"calculating hfc y pfc emissions from the manufacturing, servicing, and/or disposal of refrigeration and air-conditioning equipment"* que se encuentra en el vínculo dado arriba para las herramientas del protocolo de GEI.

### Apéndice 5c. Factores para aire acondicionado

Application	Charge (kg)	Lifetime (years)	Emission Factors (% of initial charge/yr)		
			Assembly	Annual Leakage Rate	Recycling Efficiency
Domestic Refrigeration	0.05 - 0.5	12 - 15	0.2 - 1 %	0.1 - 0.5 %	70% of remainder
Stand-Alone Commercial Applications	0.2 - 6	8 - 12	0.5 - 3 %	1 - 10 %	70 - 80% of the remainder
Medium and Large Commercial refrigeration	50 - 2000	7 - 10	0.5 - 3 %	10 - 30 %	80 - 90% of remainder
Transport Refrigeration	3.0 - 8.0	6 - 9	0.2 - 1 %	15 - 50 %	70 - 80% of remainder
Industrial Refrigeration including Food Processing and Cold Storage	10 - 10000	10 - 20	0.5 - 3 %	7 - 25 %	80 - 90% of remainder
Chillers	10.0 - 2000	10 - 30	0.2 - 1 %	2 - 15 %	80 - 95% of remainder
Residential and Commercial A/C, including Heat Pumps	0.5 - 100	10 - 15	0.2 - 1 %	1 - 5 %	70 - 80% of remainder
Mobile Air Conditioners	Not provided	12	0.50%	10 - 20 %	0%

\* These values are from IPCC Good Practice Guidelines and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000). These default values are provided

Fuente: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Consulta: abril de 2012.

Apéndice 5d. **GWP para GEI y refrigerantes comunes**

Table 1. GWPs of Common Greenhouse Gases and Refrigerants		
Gas or Blend	GWP	Source
CO <sub>2</sub> *	1	Second Assessment Report (1995)
CH <sub>4</sub> *	21	Second Assessment Report (1995)
N <sub>2</sub> O*	310	Second Assessment Report (1995)
HFC-23	11,700	Second Assessment Report (1995)
HFC-32	650	Second Assessment Report (1995)
HFC-125	2,800	Second Assessment Report (1995)
HFC-134a	1,300	Second Assessment Report (1995)
HFC-143a	3,800	Second Assessment Report (1995)
HFC-152a	140	Second Assessment Report (1995)
HFC-236fa	6,300	Second Assessment Report (1995)
R-401A	18	ASHRAE Standard 34
R-401B	15	ASHRAE Standard 34
R-401C	21	ASHRAE Standard 34
R-402A	1,680	ASHRAE Standard 34
R-402B	1,064	ASHRAE Standard 34
R-403A	1,400	ASHRAE Standard 34
R-403B	2,730	ASHRAE Standard 34
R-404A	3,260	ASHRAE Standard 34
R-406A	0	ASHRAE Standard 34
R-407A	1,770	ASHRAE Standard 34
R-407B	2,285	ASHRAE Standard 34
R-407C	1,526	ASHRAE Standard 34
R-407D	1,428	ASHRAE Standard 34
R-407E	1,363	ASHRAE Standard 34
R-408A	1,944	ASHRAE Standard 34
R-409A	0	ASHRAE Standard 34
R-409B	0	ASHRAE Standard 34
R-410A	1,725	ASHRAE Standard 34
R-410B	1,833	ASHRAE Standard 34

Fuente: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Consulta: abril de 2012.