



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL  
EN EL MANEJO DEL REFRIGERANTE CONTENIDO EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN,  
AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL, DENTRO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS EN LA INDUSTRIA  
DE GUATEMALA, QUE REDUZCA LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y QUE CUMPLA CON  
NORMATIVA VIGENTE**

**Katherine Alejandra Pérez Girón**

Asesorado por la Mtra. Inga. Lidia Valentina Jácome Cucú

Guatemala, noviembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL  
EN EL MANEJO DEL REFRIGERANTE CONTENIDO EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN,  
AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL, DENTRO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS EN LA INDUSTRIA  
DE GUATEMALA, QUE REDUZCA LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y QUE CUMPLA CON  
NORMATIVA VIGENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**KATHERINE ALEJANDRA PÉREZ GIRÓN**  
ASESORADO POR LA MTRA. INGA. LIDIA VALENTINA JÁCOME CUCÚ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO A.I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADORA	Inga. Miriam Patricia Rubio Contreras
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **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:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL REFRIGERANTE CONTENIDO EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL, DENTRO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS EN LA INDUSTRIA DE GUATEMALA, QUE REDUZCA LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y QUE CUMPLA CON NORMATIVA VIGENTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 18 de octubre de 2023.

**Katherine Alejandra Pérez Girón**



**EEPFI-PP-1725-2023**

Guatemala, 17 de octubre de 2023

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
**Escuela Ingeniería Mecánica Industrial**  
**Presente.**

**Estimado Mtro. Urquizú**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL REFRIGERANTE CONTENIDO EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL, DENTRO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS EN LA INDUSTRIA DE GUATEMALA, QUE REDUZCA LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y QUE CUMPLA CON NORMATIVA VIGENTE.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Gestión ambiental**, presentado por la estudiante **Katherine Alejandra Pérez Girón** carné número **201325584**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
  
Mtro. Lidia Valentina Jácome Cucú  
Asesor(a)

  
  
Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez  
Coordinador(a) de Maestría

  
  
Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería

Oficina Virtual





EEP-EIMI-1541-2023

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL REFRIGERANTE CONTENIDO EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL, DENTRO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS EN LA INDUSTRIA DE GUATEMALA, QUE REDUZCA LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y QUE CUMPLA CON NORMATIVA VIGENTE.**, presentado por el estudiante universitario **Katherine Alejandra Pérez Girón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2023



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.145.2023

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 Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL REFRIGERANTE CONTENIDO EN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL, DENTRO DE CAMARAS FRIGORIFICAS EN LA INDUSTRIA DE GUATEMALA, QUE REDUZCA LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y QUE CUMPLA CON NORMATIVA VIGENTE.**, presentado por: **Katherine Alejandra Perez Giron** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera  
Motivo: Orden de impresión  
Fecha: 13/11/2023 11:20:40  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, noviembre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 145 CUI: 2598161750101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por traerme a la vida, por permitirme culminar esta etapa y por todas sus bendiciones.
- Mis padres** Erick Pérez y Mayra Girón por el amor, comprensión, guía de lucha y apoyo incondicional.
- Mis hermanos** Mario y Pablo Pérez, por sus palabras de aliento, amor y apoyo incondicional en cada momento.
- Mi abuelo** Mario Pérez, por su amor, sus ánimos y consejos para culminar esta etapa.
- Mis abuelas** Celia Ortega (q. e. p. d.) y Cecilia Morán (q. e. p. d.), por su tiempo, por creer en mí, por su amor y apoyo incondicional, que desde el cielo me siguen guiando.
- Mis amigos** Por sus ánimos, cariño y apoyo que me han brindado, en todo este camino.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el espacio que me brinda enseñanza para el camino profesional, la oportunidad de crecer académicamente, adquirir conocimientos necesarios para la vida y cumplimiento de nuestros sueños.
<b>Catedráticos de la Facultad de Ingeniería</b>	Por su tiempo y conocimiento dado a lo largo de la carrera de pregrado y postgrado, para mi crecimiento profesional.
<b>Amigos de la universidad</b>	Por su dedicación, constancia y apoyo a lo largo del camino.
<b>Familiares</b>	Por cada miembro de la familia que me dedicó apoyo, tiempo y guía para lograr culminar esta etapa.
<b>Mi asesora</b>	Mtra. Inga. Valentina Jácome, por apoyo, tiempo y guía para la elaboración y culminación de este proyecto.
<b>Ingeniera</b>	Laura López, por el apoyo que me dio en el MARN para culminar este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Contexto general .....	7
3.2. Descripción del problema .....	8
3.3. Formulación del problema .....	8
3.3.1. Pregunta general .....	9
3.3.2. Preguntas auxiliares .....	9
3.4. Delimitación del problema .....	9
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos .....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15

7.	MARCO TEORICO .....	17
7.1.	Sistema de refrigeración industrial .....	17
7.1.1.	Componentes del equipo de refrigeración.....	18
7.1.2.	Refrigerantes.....	20
7.1.3.	Residuos de los sistemas de refrigeración .....	23
7.2.	Impacto ambiental.....	23
7.2.1.	Agotamiento del ozono.....	24
7.2.2.	Calentamiento global.....	24
7.3.	Gestión ambiental .....	25
7.3.1.	Indicador ambiental .....	26
7.4.	Legislación y normativa.....	26
7.4.1.	Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente .....	27
7.4.2.	Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono .....	27
7.4.3.	Protocolo de Montreal .....	28
7.4.4.	Enmienda de Kigali .....	28
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	31
9.	METODOLOGÍA .....	33
9.1.	Características del estudio .....	33
9.2.	Unidades de análisis .....	34
9.3.	Variables .....	35
9.4.	Fases de estudio.....	36
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	39
10.1.	Técnicas de observación de información .....	39
10.1.1.	Análisis cuantitativo.....	39

10.1.2.	Análisis cualitativo .....	40
10.2.	Técnicas de recopilación de datos .....	40
11.	CRONOGRAMA.....	43
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	45
	REFERENCIAS .....	47



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Clasificación de los refrigerantes .....	20
<b>Figura 2.</b>	Cronograma de actividades .....	43

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Esquema de solución.....	16
<b>Tabla 2.</b>	Componentes del sistema de refrigeración industrial .....	19
<b>Tabla 3.</b>	Variables que se analizarán en el proyecto .....	35
<b>Tabla 4.</b>	Presupuesto de recursos requeridos .....	45



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono.
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzales
<b>tCO<sub>2</sub>eq</b>	Toneladas de dióxido de carbono equivalente



## GLOSARIO

<b>Cambio climático</b>	Cambio previsible en el clima terrestre provocado por la acción humana, que causa el efecto invernadero y el calentamiento global.
<b>Capa de ozono</b>	Capa de la atmósfera terrestre que contiene una concentración de átomos de oxígeno y se encuentra localizada en la estratósfera, entre 15 a 30 kilómetros de altura sobre la superficie del planeta. Es un escudo que ha protegido la tierra de la radiación ultravioleta dañina del sol durante millones de años.
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbono es un compuesto químico que contiene cloro, flúor y carbono.
<b>Contaminación</b>	Es la presencia de sustancias o elementos dañinos en un entorno, que pueden ser perjudiciales para los seres vivos.
<b>Efecto invernadero</b>	Es un fenómeno natural que permite que la Tierra mantenga una temperatura adecuada para la vida. Son sustancias o elementos dañinos presentes en el medio ambiente, que pueden ser perjudiciales para los seres vivos.

<b>GEI</b>	Gas de efecto invernadero que absorbe y emite radiación infrarroja. Esta propiedad es la causa fundamental del efecto invernadero.
<b>PAO</b>	Potencial de agotamiento de la capa de ozono.
<b>PCG</b>	Potencial de calentamiento global.
<b>Protocolo de Montreal</b>	Acuerdo multilateral internacional que protege la capa de ozono, reduciendo la producción y el consumo de sustancias que la dañan.
<b>Reciclaje</b>	Proceso de convertir residuos en nuevos productos o en materia prima para su posterior utilización.
<b>Residuo</b>	Es todo material que se descarta o se considera desecho.
<b>Residuo peligroso</b>	Es aquel que, por sus características, puede causar daños a la salud humana o al medio ambiente.
<b>SAO</b>	Sustancias agotadoras de ozono. Sustancias químicas que cuando llegan a la atmósfera destruyen la capa de ozono; estas solo dañan si son fluoradas y contienen cloro o bromo.
<b>Sustancia controlada</b>	Aquellas que regulan, reducen o eliminan el Protocolo de Montreal.

# 1. INTRODUCCIÓN

La industria guatemalteca se enfrenta a un desafío ambiental crítico, relacionado con el manejo inadecuado de equipos de refrigeración al final de su vida útil y, de los componentes, como el refrigerante, por el daño que causan al entorno natural. Para analizar estas consecuencias y cumplir con la normativa vigente, se plantea una investigación enfocada en la logística verde, con el propósito de proponer un plan de gestión ambiental efectivo.

Este estudio determinará el estado actual y las causas de los impactos ambientales, por el manejo inadecuado de refrigerantes en los equipos de refrigeración. Identificará los efectos ambientales producidos durante la gestión del uso de refrigerantes; por ejemplo, generación de residuos, emisión de gases de efecto invernadero, contaminación y consumo de recursos. Además, se evaluarán los beneficios luego de haber aplicado un plan de gestión ambiental que prevenga y reduzca estos impactos. También se promoverán prácticas sostenibles que favorecen a las industrias y al medio ambiente.

La relevancia de este estudio radica en establecer una base sólida para la aplicación de un plan de gestión ambiental en el manejo de refrigerantes, en equipos de refrigeración al final de su vida útil, en la industria guatemalteca. Al fomentar una gestión responsable y sostenible, se aspira a reducir los impactos ambientales, impulsar la economía circular y contribuir a la lucha contra el cambio climático. Esto sentará las bases para un futuro más prometedor y sostenible en el ámbito industrial y medioambiental.



## 2. ANTECEDENTES

Con el aumento de la demanda mundial de refrigeración y aire acondicionado, también crece la preocupación por los impactos ambientales asociados con estos equipos, especialmente cuando se desechan incorrectamente. Por lo tanto, la gestión ambiental en el manejo de refrigerantes que quedan en los equipos de refrigeración al final de su vida útil se ha vuelto crucial en el campo de la economía circular, la protección del medio ambiente y la salud humana.

En diversas regiones mundo, los equipos de refrigeración inundan el mercado, los cuales son considerados como aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) de gran tamaño. Esta clasificación se refiere a neveras, congeladores y amplios sistemas de refrigeración, entre otros.

Los sistemas de refrigeración desempeñan un papel fundamental en la satisfacción de las necesidades, para preservar productos que requieren enfriamiento, garantizando así una cadena de frío eficiente, especialmente en determinados sectores industriales. Sin embargo, Palafox et al. (2022) indica que estos sistemas impactan en el cambio climático por el empleo de refrigerantes que aceleran el calentamiento global (PCG), que son perjudiciales si se escapan al ambiente o no se manejan de forma adecuada. A pesar de estos impactos, Moie (2019) destaca que la industria de la refrigeración y el aire acondicionado poseen un considerable potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Para analizar estos impactos, se han realizado investigaciones que proponen estrategias de gestión ambiental. En un estudio elaborado por Velásquez et al. (2021) menciona que los RAEE son residuos eléctricos y electrónicos que se refiere a cualquier AEE que ya no son útiles para sus dueños, ya sea porque están averiados o porque se sustituyen por otros con mejores características tecnológicas o diseño. En ese sentido, Foglino (2022) indica que el reciclaje de componentes de los sistemas de refrigeración es una estrategia eficaz para disminuir el impacto ambiental. Al separar y recuperar algunos materiales permite la reutilización, reduciendo la necesidad de extraer recursos naturales y la proliferación de desechos.

Es fundamental analizar las consecuencias ambientales de los sistemas de refrigeración al final de su vida útil y tomar medidas para gestionar su eliminación de manera adecuada. Para este propósito, se emplea un análisis vida del equipo de refrigeración, para evaluar la cantidad de refrigerante liberado al final de su ciclo de vida. De acuerdo con Rossi et al. (2021), el análisis del ciclo de vida no solo implica la evaluación de la cantidad total de sustancias liberadas en diferentes entornos naturales durante todas las etapas de fabricación, funcionamiento y desmantelamiento de un sistema de refrigeración, sino que también abarca la etapa de descarte.

Por otro lado, Velásquez et al. (2021) presenta estrategias para evaluar el impacto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero que surgen al término de la vida útil de los equipos de refrigeración. Los hallazgos subrayan la relevancia de una gestión estructurada del reciclaje de estos equipos, para disminuir las emisiones y prevenir actividades no reguladas o la descarga en vertederos, lo que ocasiona un significativo impacto ambiental. Así mismo, un estudio hecho por Xiao et al. (2016) sugiere analizar los impactos

ambientales durante la etapa de reciclaje y eliminación de un frigorífico, con el fin de adoptar medidas idóneas para reducirlos y preservar el entorno natural.

Adicionalmente, estos escenarios alternativos implican la pérdida de material reciclable. Saavedra et al. (2023) enfatiza en la necesidad de tomar medidas a largo plazo para prevenir y reducir la contaminación, lo que beneficia al medio ambiente, la eficiencia productiva y los costos en términos materiales. La industria comprometida con la protección ambiental puede cambiar sus políticas al aplicar pautas nacionales e internacionales para solucionar problemas ambientales. También es importante educar al público sobre la gestión ambiental de los sistemas de refrigeración, fomentando prácticas sostenibles y la participación en programas de reciclaje.

En una guía de directrices, Heubes (2017) destaca la importancia de la economía circular en la gestión de residuos, siguiendo la jerarquía de residuos que incluye prevención, reutilización, reciclaje, recuperación y eliminación adecuada. En el ámbito de los sistemas de refrigeración, se enfoca en gestionar eficazmente componentes como los refrigerantes para reintroducirlos en el mercado, un tema que desconocen grandes industrias con estos sistemas. Además, Nižetić et al. (2019) propone una comprensión significativa sobre el manejo de los residuos y los procedimientos empleados en este contexto, que la industria necesita conocer para llevar a cabo una adecuada gestión de los sistemas de refrigeración, que incluya la economía circular.

El desconocimiento en el manejo de refrigerantes va más allá de su gestión adecuada, porque requiere comprender sus efectos negativos. En un estudio elaborado por Sovacool et al. (2021), analiza estos impactos; brinda una visión completa de los desafíos y oportunidades en el análisis de gases fluorados. Su objetivo es promover políticas eficaces para reducir las emisiones

sintéticas de efecto invernadero y avanzar en la mitigación del cambio climático hacia un futuro sostenible y resiliente.

La gestión ambiental de refrigerantes, contenidos en equipos de refrigeración al final de su vida útil, requiere la implementación de medidas concretas que garanticen el reciclaje, la reutilización y el manejo seguro de los mismos. Estos estudios respaldan la necesidad de acciones efectivas, para mitigar los impactos ambientales de estos equipos y promover una mayor sostenibilidad.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El manejo inadecuado de los equipos de refrigeración al final de su vida útil, principalmente de los refrigerantes contenidos en ellos, tiene graves consecuencias ambientales, afectando la calidad del aire, agua, suelo, salud humana y la biodiversidad. Esta práctica incumple las regulaciones y normativas vigentes cuando los equipos son entregados a vertederos o sitios no autorizados, lo cual aumenta la contaminación ambiental y la emisión de gases de efecto invernadero. Estas acciones perjudican el medio ambiente y desaprovechan la oportunidad de utilizar materiales valiosos presentes en los equipos de refrigeración y componentes, como el refrigerante, que podrían ser reciclados y reutilizados de manera responsable.

#### **3.1. Contexto general**

Guatemala es miembro y parte del Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal desde 1987. Estos tratados internacionales buscan mitigar las emisiones de refrigerantes generadas por actividades humanas que dañan el medio ambiente, porque disminuyen la capa de ozono y afectan la salud humana, que a su vez generan otros efectos negativos asociados con estos daños.

Las Industrias que cuentan con sistemas de refrigeración, que son objeto de estudio para esta investigación, están comprometidas en cumplir con las políticas nacionales e internacionales para proteger el medio ambiente y la salud humana.

Esto implica para la industria de refrigeración buscar soluciones eficientes, responsables y sostenibles para mejorar sus procesos en la gestión ambiental de sistemas de refrigeración al final de su vida útil, para reducir los impactos ambientales generados por la emisión de gases refrigerantes usados o contenidos en los sistemas de refrigeración.

### **3.2. Descripción del problema**

La gestión de residuos es un desafío significativo para la industria de Guatemala. La falta de conocimiento sobre los procedimientos adecuados para gestionar ciertos componentes de los equipos de refrigeración al final de su vida útil es un problema común en este sector. Como resultado, la mayoría de estos equipos terminan en empresas de reciclaje no autorizadas o en rellenos sanitarios, lo que causa daños ambientales por los elementos que componen los sistemas, incluidos los refrigerantes. Además, esta gestión inadecuada también tiene consecuencias negativas para la salud humana y puede llevar a problemas legales.

El incumplimiento de procesos adecuados y sostenibles agrava esta situación y afecta tanto a la industria de refrigeración como al medio ambiente. Es esencial afrontar este problema para proteger nuestros recursos naturales, salvaguardar la salud de las personas y fomentar prácticas responsables en la gestión de residuos de refrigeración.

### **3.3. Formulación del problema**

Para la formulación del problema se cuenta con las siguientes preguntas.

### **3.3.1. Pregunta general**

¿Cuál es la solución idónea para reducir los impactos ambientales generados por el mal manejo de refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración, al final de su vida útil, en la Industria de Guatemala, y para que cumpla con la normativa vigente?

### **3.3.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Cuál es la situación actual de la gestión del manejo de los refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración al final de su vida útil, que evidencie las principales causas que generan impactos ambientales y oportunidades de mejora en la gestión?
- ¿Cuáles son los impactos ambientales generados por el manejo actual de los refrigerantes de los equipos de refrigeración al final de su vida útil en la industria, específicamente en términos de generación de residuo, emisión de gases de efecto invernadero, contaminación y el consumo de recursos?
- ¿Cuáles son los beneficios que se obtienen al implementar un plan de gestión ambiental en el manejo del refrigerante contenido en los equipos de refrigeración al final de su vida útil, para prevenir y reducir los impactos ambientales identificados?

### **3.4. Delimitación del problema**

El estudio se limitará a los usuarios de la industria que cuentan con equipos de refrigeración incorporados dentro de cámaras frigoríficas, ubicados

en la Ciudad de Guatemala. Se analizarán las condiciones ambientales y técnicas para evaluar los procedimientos para la gestión en el manejo de los equipos de refrigeración al final de su vida útil, principalmente del refrigerante, cuando ya no son funcionales o seguros para su uso original. Además, se proponen las mejoras para tener procesos sostenibles y viables.

## **4. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo se enfoca en la logística verde, la cual considera la manipulación de residuos en el ámbito de la refrigeración. El objetivo es proponer medidas para mejorar la gestión de los refrigerantes, contenidos en los equipos de refrigeración, al final de su vida útil, reduciendo así los impactos ambientales de los gases refrigerantes emitidos por estos equipos en diversas industrias del país.

La investigación surge ante la necesidad de estudiar los crecientes impactos ambientales causados por la industria de la refrigeración y por aquellas que utilizan estos equipos en sus procesos. Estos impactos son ocasionados, en parte, por la falta de conocimiento sobre la gestión adecuada de los refrigerantes al final de su vida útil, lo que se convierte en daños ambientales y daños a la salud humana, así como el respectivo incumplimiento de normativas y procesos sostenibles.

El estudio busca mejorar la gestión ambiental de los refrigerantes en equipos de refrigeración desechados. Actualmente, muchos de estos equipos terminan en lugares no autorizados o rellenos sanitarios, lo que aumenta el impacto ambiental y afecta la eficiencia de los procesos. Para reducir este impacto, se deben implementar buenas prácticas de gestión de refrigerantes y cumplir con normativas ambientales. El objetivo del proyecto es establecer un plan de gestión ambiental que mejore operaciones, promueva soluciones responsables para prevenir y reducir impactos ambientales, facilite la recuperación y reciclaje de refrigerantes y promueva una cultura empresarial

que cumpla con las expectativas sociales entorno a la economía circular y el medio ambiente.

Es importante resaltar que hoy en día es de suma importancia el tema del cambio climático, puesto que al aplicar las técnicas que se emplearán en el presente trabajo de investigación, se podrán atender recomendaciones, sugerencias y ciertos métodos que pueden usarse para el manejo correcto del refrigerante. Al haber un resultado positivo del presente trabajo, beneficiará a la comunidad, a la industria de la refrigeración y a aquellas que dentro de sus procesos hagan uso de equipos de refrigeración. De igual manera, el resultado contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, porque la optimización de los recursos, como el refrigerante, sea el futuro de grandes proyectos y de viabilidad de muchas entidades.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Proponer un plan de gestión ambiental en el manejo del refrigerante al final de su vida útil, contenido en cámaras frigoríficas en la industria de Guatemala, que reduzca los impactos ambientales y que cumpla con la normativa vigente.

### **5.2. Específicos**

- Determinar la situación actual de la gestión del manejo de refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración, final de su vida útil, a través de la investigación y recolección de información, que permita identificar las principales causas que generan impactos ambientales y oportunidades de mejora en la gestión actual.
- Identificar los impactos ambientales generados por el manejo actual de refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración, final de su vida útil, en la industria, durante el estudio de la recopilación de datos que incluyan generación de residuos, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación y consumo de recursos, que proporcione una comprensión clara de los impactos y estrategias para su mitigación.
- Determinar los beneficios que se obtienen al implementar un plan de gestión ambiental en el manejo del refrigerante contenidos en equipos de refrigeración, al final de su vida útil, durante la evaluación de los

procesos involucrados del plan y sus efectos de prevención, así como reducción de los impactos ambientales identificados para su razón y proporción de recomendaciones fundamentadas en mejora.

## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Este estudio surge por la necesidad de analizar los impactos ambientales debido al manejo inadecuado del refrigerante en equipos de refrigeración en desuso. La gestión incorrecta de refrigerantes, como HCFC y HFC, contribuye al calentamiento global y al agotamiento de la capa de ozono, además de generar impactos adversos. Se requiere un plan de gestión ambiental para reducir estos efectos negativos y promover la sostenibilidad en la industria que utiliza estos equipos.

Por lo tanto, implica establecer indicadores clave, recopilar datos relevantes y realizar análisis para mejorar la gestión de refrigerantes en equipos al final de su vida útil y reducir el impacto ambiental. Se desarrollarán estrategias para minimizar riesgos, promoviendo prácticas sostenibles como la recuperación, almacenamiento y preparación para el reciclaje de refrigerantes en centros adecuados, cumpliendo con normativas y estándares para fomentar la economía circular. Un plan de gestión, basado en estos principios, reduce la dependencia de materias primas vírgenes y minimiza los impactos ambientales de los refrigerantes en equipos al final de su vida útil. Además, el plan propone estrategias para evaluar su efectividad y cumplir regulaciones vigentes.

El esquema de solución para gestionar los refrigerantes en equipos de refrigeración al final de su vida incluirá varias fases y pasos basados en los objetivos, que se describen a continuación:

**Tabla 1.**

*Esquema de solución*

<b>FASE 1</b>			
<b>Diagnóstico inicial de la situación actual</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Metodología</b>	<b>Recursos</b>	<b>Tiempo</b>
Identificar la cantidad y tipos de equipos de refrigeración.	Recolección de datos de bases de los equipos de refrigeración y estimación de su ciclo de vida.	Sistema de base de datos de importaciones de equipos e información de vida de los equipos.	2 semanas.
Analizar las regulaciones y normativas nacionales e internacionales.	Investigar y analizar la legislación y regulaciones ambientales pertinentes en Guatemala.	Acceso a la normativa ambiental y regulaciones vigentes.	1 semana.
Evaluar los impactos ambientales y los riesgos asociados.	Evaluación de impacto ambiental del refrigerante, identificación de la causa raíz, y análisis de la cantidad y tipo de refrigerante y emisiones de gases de efecto invernadero.	Herramientas de recolección de datos y análisis de impacto ambiental y causas.	1 semana.
<b>FASE 2</b>			
<b>Diseño de plan gestión ambiental</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Metodología</b>	<b>Recursos</b>	<b>Tiempo</b>
Establecer medidas y controles ambientales para la gestión del refrigerante	Definir los controles para detectar causas, para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la promoción de la reutilización y el reciclaje.	Equipo de planificación ambiental, normativa vigente, información sobre buenas prácticas internacionales.	1 mes
Diseñar procedimientos generales para la recuperación, almacenamiento, recolección, reciclaje seguro del refrigerante.	Explorar mejores prácticas sostenibles, cumplir regulaciones ambientales y desarrollar una gestión que incluya cada procedimiento, tecnologías seguras para refrigerantes, y evaluación en cada etapa.	Personal técnico capacitado para llevar a cabo cada proceso establecido. Equipos de protección. Utilizar herramientas que permitan verificar riegos ambientales y de seguridad.	2 meses
<b>FASE 3</b>			
<b>Evaluación y seguimiento</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Metodología</b>	<b>Recursos</b>	<b>Tiempo</b>
Determinar indicadores ambientales para evaluar la efectividad del plan de gestión ambiental.	Establecer metas cuantificables, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación del refrigerante, mediante indicadores clave	Herramientas de muestreo y análisis. Normativas y estándares ambientales.	3 semanas
Verificación periódica de los procesos de manejo de los refrigerantes y evaluar el cumplimiento de los objetivos establecidos.	Determinar las herramientas para análisis periódicos de los procesos y mejora.	Documentación de evaluación y verificación.	3 semanas

*Nota.* Fases y necesidades por cubrir en la ejecución del estudio. Elaboración propia, realizado con Excel.

## **7. MARCO TEORICO**

Este capítulo presentará la base teórica para dar a conocer el fundamento del conocimiento en materia del plan de gestión ambiental, para el manejo adecuado de equipos de refrigeración al final de su vida útil, y para mitigar los impactos ambientales negativos asociados con la disposición inadecuada de estos dispositivos.

### **7.1. Sistema de refrigeración industrial**

La refrigeración industrial es un proceso esencial en numerosas industrias, que involucra la reducción de la temperatura de un espacio o un fluido para mantener condiciones óptimas de funcionamiento. A menudo, se utiliza para conservar productos perecederos, enfriar maquinaria, controlar procesos químicos o fabricar productos específicos que requieren temperaturas controladas.

Otra definición de la función de la refrigeración industrial es proporcionada por Espiñeira (2022):

La refrigeración industrial, por su parte, se encarga de la refrigeración de fluidos y sólidos antes o después del proceso de producción y comprende los procesos de fabricación y almacenaje antes de llegar al comercio.

Generalmente se trata de equipos compactos y semicompactos para grandes cámaras frigoríficas, unidades evaporadoras, unidades y centrales de refrigeración y plantas de glicol. (párr. 4)

En la refrigeración industrial, se utilizan sistemas y tecnologías avanzadas para garantizar eficiencia energética y cumplir con las regulaciones ambientales aplicables, parte de estos son los sistemas de refrigeración industrial.

En cuanto a los sistemas de refrigeración industrial, el Registro Estatal de Emisiones de Fuentes Contaminantes (s.f.) los define como los sistemas que capturan el calor de un entorno mediante compensación térmica con agua o aire, con el propósito de disminuir la temperatura del área en cuestión y llevarla a un nivel ambiente.

#### **7.1.1. Componentes del equipo de refrigeración**

Los sistemas de refrigeración industrial varían en tamaño y complejidad, desde pequeñas unidades de enfriamiento hasta plantas de refrigeración a gran escala, y tienden a ser utilizados o estar compuestos según su aplicación, donde se incluyen las cámaras frigoríficas.

Parte de estos sistemas están conformados por varios componentes para realizar su función y ciclo frigorífico. En cuanto a los componentes que integran estos sistemas, Tecener SA de CV (2015) detalla que son cuatro los principales, los cuales son el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Los componentes anteriormente mencionados son considerados equipos de refrigeración de un sistema frigorífico, pero además de

estos existe otros componentes que el sistema requiere para efectuar el proceso de refrigeración.

A continuación, se detallan los componentes que comúnmente integran un sistema de refrigeración industrial:

**Tabla 2.**

*Componentes del sistema de refrigeración industrial*

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
Compresor	Comprime el refrigerante gaseoso, aumentando su temperatura y presión. Los compresores varían en tipos (pistón, tornillo o <i>scroll</i> ) según la aplicación y capacidad necesaria.
Evaporador	Intercambiador de calor que hace que el refrigerante evapore, absorbiendo calor del entorno que se enfría y cambia de líquido a gas.
Condensador	Intercambiador que condensa el refrigerante gaseoso, liberando el calor absorbido en el evaporador.
Válvula de expansión	Controla el flujo del refrigerante del condensador al evaporador, disminuyendo su presión y temperatura antes de ingresar al evaporador.
Ventiladores y bombas	Mueven aire o agua en los intercambiadores de calor (evaporador y condensador) para facilitar el intercambio de calor.
Refrigerante	Fluido que transporta calor, desde el área a enfriar, al condensador donde se libera. Pueden ser químicos específicos, como gases fluorados, o naturales como amoníaco o CO <sub>2</sub> .

*Nota:* Descripción detallada de componentes que comúnmente conforman un sistema de refrigeración industrial. Elaboración propia, realizado con Excel.

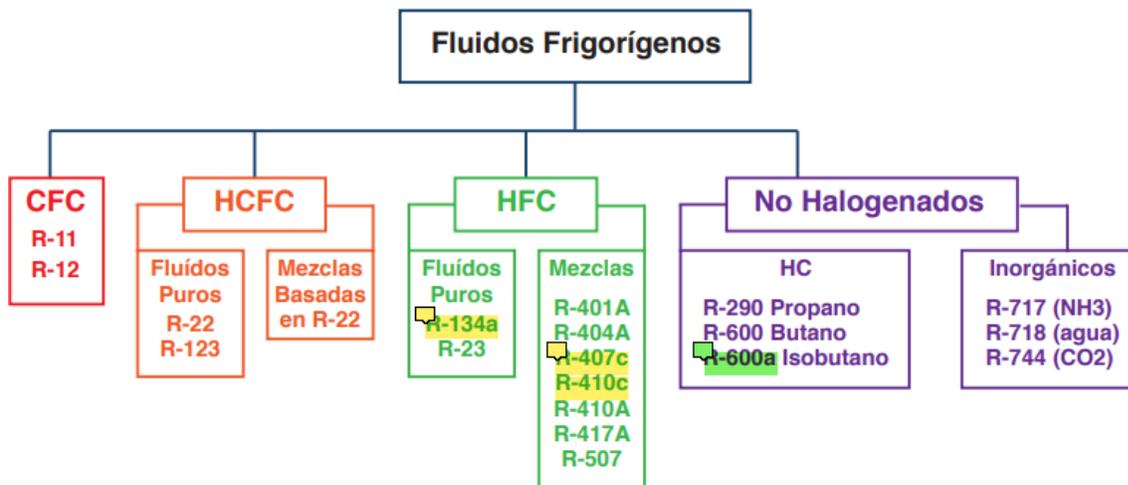
### 7.1.2. Refrigerantes

Es un fluido o sustancia utilizada en sistemas de refrigeración y climatización, que sirve para absorber y transportar el calor de un lugar a otro, permitiendo enfriar espacios o entornos específicos.

Los refrigerantes se pueden clasificar de diversas maneras, según sus propiedades químicas y composición, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1.**

*Clasificación de los refrigerantes*



*Nota:* Clasificación de los refrigerantes de acuerdo con la Estándar 34 de la ASHRAE. Obtenido del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *Buenas prácticas en los procesos de instalación y mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado.* (p. 10.) MARN.

Los refrigerantes también pueden clasificarse de diferente manera, así como lo especifica el Instituto Nacional de Normalización (2015):

Los equipos trabajan con tres tipos de refrigerantes; CFC denominados de término, HCFC denominados de transición, HFC denominados de largo término. Las tres categorías se denominan sustancias sintéticas puras. Ya que estos carburos halogenados se pueden mezclar entre sí, de estos tres tipos se elaboran las mezclas de refrigerantes azeotrópicas, las cuales se comportan como una sustancia sintética pura, es decir, que con los continuos cambios de estado en el interior del sistema de refrigeración y/o climatización, como la condensación y la evaporación, no se alteran sus comportamientos termodinámicos. Por otro lado, se encuentran las mezclas zeotrópicas, sustancias que, debido a cambios de estado en el sistema de refrigeración y climatización, sí sufren alteraciones termodinámicas como, por ejemplo, tener una temperatura de saturación variable a una presión constante, o tener diferencias en los porcentajes tanto en estado líquido y vapor, de acuerdo con los refrigerantes con los cuales se fabricó esta sustancia. (p. 45)

De acuerdo con Instituto Nacional de Normalización (2015), los refrigerantes también pueden variar en su conducta durante la transición de fase; en ciertas mezclas, los elementos al interactuar entre la fase de vapor y líquida mantienen su composición constante bajo una presión específica, denominándose mezclas azeotrópicas (serie 500). En otras mezclas, la composición de los componentes no es constante en la fase de vapor y líquida, lo cual varía según si la mezcla se evapora o condensa a ciertas presiones, siendo conocidas como mezclas zeotrópicas (serie 400).

Tomando como referencia lo anterior, a continuación se describen algunos de los refrigerantes que son utilizados comúnmente en la industria:

- Hidroclorofluorocarbonos (HCFC): a pesar de su impacto en la capa de ozono, los HCFC están siendo eliminados gradualmente y aún se usan en sistemas existentes, como el R-22, un refrigerante HCFC común en la industria. Sin embargo, se busca reemplazarlo con opciones más sostenibles.
- Hidrofluorocarbonos (HFC): los más utilizados son el R-404A, R-410A y R-134a. Estos son ampliamente utilizados en la industria porque no dañan la capa de ozono, a diferencia de los refrigerantes anteriores, como los CFC y HCFC. Aunque no contienen cloro, algunos HFC tienen un alto potencial de calentamiento global, lo que impulsa la búsqueda de alternativas más sostenibles.
- Hidrocarburos (HC): los hidrocarburos como el propano (R-290) y el isobutano (R-600a) son cada vez más populares en la industria debido a su bajo impacto ambiental y alta eficiencia energética. Estos refrigerantes naturales tienen un reducido potencial de calentamiento global y se emplean en sistemas de refrigeración doméstica, comercial e industrial de menor escala.
- Amoníaco (NH<sub>3</sub>): el amoníaco es un refrigerante natural usado en aplicaciones a gran escala, como la refrigeración industrial y la conservación de alimentos. Aunque no afecte la capa de ozono, es tóxico y su manipulación requiere precauciones adicionales.

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): el dióxido de carbono, o CO<sub>2</sub> (R-744), es un refrigerante natural en aumento en aplicaciones comerciales e industriales de refrigeración. Tiene un bajo potencial de calentamiento global y no afecta la capa de ozono. No obstante, los sistemas de refrigeración con CO<sub>2</sub> requieren alta presión, un manejo y diseño específico.

### **7.1.3. Residuos de los sistemas de refrigeración**

Los sistemas de refrigeración industrial generan varios tipos de residuos y desechos que deben ser gestionados adecuadamente, para cumplir con las regulaciones ambientales y garantizar la seguridad. Algunos de los residuos comunes generados por estos sistemas incluyen los refrigerantes.

Los sistemas son categorizados como grandes aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) que a su vez generan residuos eléctricos y electrónicos (RAEE). Los RAEE, según ECOLEC (s.f.), a veces contienen sustancias dañinas como cadmio, mercurio, plomo, arsénico, fósforo, aceites perjudiciales y gases que contribuyen al deterioro de la capa de ozono o al calentamiento global, como los CFC, HCFC, HFC o HC. Estas sustancias son vitales para el funcionamiento de los sistemas, pero si no se gestionan adecuadamente cuando se vuelven residuos, pueden liberarse al ambiente y causar daños a la salud humana.

## **7.2. Impacto ambiental**

El impacto ambiental como lo define la Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales (2018), es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Por lo tanto, refiere a los efectos que las actividades humanas y naturales tienen en el medio ambiente. Estos efectos pueden ser positivos o negativos, pero generalmente cuando hablamos de impacto ambiental nos referimos a los efectos adversos que nuestras acciones tienen en el entorno natural.

### **7.2.1. Agotamiento del ozono**

Algunos de los refrigerantes mencionados y comúnmente utilizados en la industria son considerados sustancias agotadoras del ozono (SAO). Tienen el potencial para reaccionar con las moléculas de ozono en la estratósfera, entre esas se incluyen los refrigerantes como los CFC y los HCFC, por estar compuestos de cloro, de ahí surge el agotamiento de la capa de ozono.

Para conocer su impacto ambiental en la estratósfera, se hace a través de la verificación del Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO). Según lo explicado por Arnabat (2018), es una evaluación de las sustancias designadas como refrigerantes en términos de su capacidad para afectar negativamente la capa de ozono en la atmósfera. Esta medida se contrasta con el refrigerante CFC-11, el cual posee un valor estándar de 1.

### **7.2.2. Calentamiento global**

Es causado mayormente por la actividad humana al acumular gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono en la atmósfera, que eleva la temperatura terrestre, generando cambios climáticos drásticos como el aumento del nivel del mar, eventos climáticos extremos y la pérdida de biodiversidad, con consecuencias devastadoras para el planeta y sus habitantes.

En el caso de los países en vía de desarrollo, Narayan et al. (2014) explica que los HFC emergen como alternativa principal a los HCFC. Se eliminan gradualmente, sustituyendo su uso en más del 75 %, con un aumento de HFC en el consumo proyectado, que sobrepasará a países desarrollados para el 2020. Fenómeno que contribuye significativamente al aumento del calentamiento global.

Para conocer el impacto ambiental en el ambiente se utiliza un punto de referencia conocido como Potencial de Calentamiento Global (PCG), según lo define el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2013). Representa la influencia de cada gas de efecto invernadero en el cambio climático, en comparación con el dióxido de carbono, cuyo PCG se establece en 1. Por lo general, el PCG se calcula en un período de 100 años.

### **7.3. Gestión ambiental**

Se refiere a la planificación, organización, coordinación y control de las acciones y prácticas relacionadas con el medio ambiente en diferentes niveles, ya sea en una organización, una comunidad o a nivel gubernamental.

La gestión ambiental implica tomar medidas para minimizar los impactos negativos de las actividades humanas en el entorno natural, y promover la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad.

En ese sentido, D'Angelo et al. (2022) menciona que “la Gestión Ambiental se plantea como estrategia para el desarrollo armónico de las intervenciones humanas con el ambiente” (p. 79).

### **7.3.1. Indicador ambiental**

Se refiere a una medida o métrica utilizada para evaluar o cuantificar el estado del medio ambiente o aspectos específicos de este.

En cuanto a los indicadores ambientales, el Ministerio de Ambiente (s.f.) señala que estos posibilitan la descripción y el estudio de un aspecto importante del estado del entorno ambiental, la sostenibilidad de los recursos naturales y su interacción con las acciones humanas; ofrece datos respaldados científicamente sobre las circunstancias y evoluciones medioambientales.

Los indicadores son esenciales para la gestión ambiental y la toma de decisiones en la conservación y protección del medio ambiente, abarcando diversos temas como calidad del aire, agua, biodiversidad, contaminación, cambio climático y residuos, entre otros.

### **7.4. Legislación y normativa**

Los instrumentos y normativas ambientales están diseñadas para minimizar el impacto negativo de ciertas actividades humanas en el medio ambiente.

Actualmente, en Guatemala se implementa legislación y normativa relacionada con la protección del medio ambiente y con la salud humana. Una de ellas es el Protocolo de Montreal, el cual busca disminuir y eliminar sustancias que dañan el ozono y el medio ambiente, causado por ciertas actividades humanas.

A continuación se proporcionan datos sobre legislación y normativa ambiental, a nivel nacional e internacional:

#### **7.4.1. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente**

Es necesario que a través de acciones del Gobierno se pueda salvaguardar y mejorar el entorno natural, de acuerdo con el artículo 14 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (1968), que establece las pautas para evitar la contaminación de la atmósfera, preservar la pureza y calidad del aire. El Gobierno promulgará las normativas adecuadas y establecerá las directrices necesarias.

#### **7.4.2. Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono**

Este fue creado para enfrentar los desafíos asociados con el deterioro de la capa de ozono en la atmósfera terrestre. Se ratificó el 22 de marzo de 1985 en Viena, Austria, y comenzó a aplicarse el 1 de enero de 1989. El tratado impone acciones destinadas a preservar la capa de ozono e identificar las sustancias perjudiciales que la dañan.

En la Ley del Protocolo de Montreal, relativo a las Substancias Agotadoras de la Capa de Ozono (1987), se aprueba la adhesión de Guatemala al Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, Artículo 1, adoptado el 22 de marzo de 1985 por la conferencia de Plenipotenciarios sobre la Protección de la Capa de Ozono.

### **7.4.3. Protocolo de Montreal**

Es uno de los Acuerdo Multilaterales medioambientales que ha tenido mayor importancia a nivel global. Este acuerdo, como menciona Sanata y Aguilera (2017), fue suscrito el 16 de septiembre de 1987 y aceptado por 46 países, sentando las bases para la disminución de las sustancias perjudiciales que todavía hoy afectan la capa de ozono y el entorno.

Este acuerdo internacional tiene como objetivo proteger la capa de ozono, al controlar la producción y el consumo de sustancias que agotan el ozono, por ejemplo, los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Estas sustancias suelen utilizarse en sistemas de refrigeración.

En Guatemala, según Ley del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (1989), artículo 1, del Decreto Número 34-89, se adhiere y oficializa la ratificación del Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, firmado en Montreal el 16 de septiembre de 1987.

### **7.4.4. Enmienda de Kigali**

Esta enmienda busca reducir gradualmente el uso de hidrofluorocarbonos (HFC), estos son sustancias utilizadas en equipos de refrigeración y se consideran gases de efecto invernadero por poseer un alto potencial de calentamiento global.

La enmienda se comenzó a implementar el 1 de enero de 2019; ha sido fundamental en la lucha contra las emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global. La aplicación de la Enmienda de Kigali, de acuerdo con

el Instituto Nacional de Normalización (2015), podría evitar un aumento de 0.4 °C en la temperatura global para el final del siglo y proteger la capa de ozono. Estas modificaciones contribuyen a alcanzar los objetivos del Acuerdo de París.



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de refrigeración industrial

2.1.1. Componentes del equipo de refrigeración

2.1.2. Refrigerantes

2.1.3. Residuos de los sistemas de refrigeración

2.2. Impacto ambiental

2.2.1. Agotamiento de ozono

2.2.2. Calentamiento global

2.3. Gestión ambiental

2.3.1. Indicador ambiental

2.4. Legislación y normativa

2.4.1. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente

2.4.2. Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono

2.4.3. Protocolo de Montreal

2.4.4. Enmienda de Kigali

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

## **9. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo este estudio del plan de gestión ambiental en el manejo de los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración, al final de su vida útil, dentro de cámaras frigoríficas en la Industria de Guatemala, se efectuará la siguiente metodología.

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque del estudio que se propone es mixto, porque analizará los procesos actuales involucrados en el manejo de los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración cuando ya están en desuso, con el objetivo de mejorar procesos y mitigar los impactos ambientales, generados por prácticas incorrectas que, a su vez, cumplan con la normativa vigente.

El análisis del estudio mixto se divide en cualitativo y cuantitativo. El cualitativo examina las prácticas de manejo de refrigerantes en equipos desechados y sus impactos negativos, destacando la importancia de la mitigación. El cuantitativo evalúa la cantidad de refrigerante recuperado y reciclado adecuadamente, en relación con la cantidad total de equipos desechados, así como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros daños asociados. Incluye la disminución de refrigerante considerado residuo peligroso generado durante el proceso.

El alcance es descriptivo, ya que evaluará todas las características de la gestión del manejo de los refrigerantes al final de su vida útil, el cálculo de la cantidad de equipos desechados en vertederos que pueden contener

refrigerantes, los impactos comúnmente generados por las prácticas actuales, la cantidad de contaminación y emisiones de gas de efecto invernadero, así como determinar el plan de gestión adecuado para mejorar, mitigar y prevenir los impactos identificados.

El diseño adoptado no será experimental. En lugar de manipular variables o intervenir directamente en situaciones específicas, se basará en la observación y recopilación de datos existentes sobre el manejo de los refrigerantes en equipos de refrigeración y su impacto ambiental en Guatemala. Esto incluirá verificar la cantidad de equipos de refrigeración con refrigerantes en desuso, la cantidad de refrigerante en estos equipos, las prácticas de manejo de los refrigerantes, la contaminación generada y los impactos actuales. El objetivo es proporcionar recomendaciones para que la industria mitigue y prevenga estos impactos a través de mejores prácticas.

## **9.2. Unidades de análisis**

La población de este plan se refiere a los componentes y elementos involucrados en el manejo de equipos de refrigeración al final de su vida útil, como el refrigerante, las acciones y estrategias para reducir los impactos ambientales en la industria de Guatemala, según la normativa vigente. La unidad de análisis incluye calcular la cantidad y tipos de equipos de refrigeración industrial, desechados, con refrigerantes, la generación de residuos de refrigerantes al desechar equipos, emisiones de gases de efecto invernadero debido a la gestión incorrecta, el desperdicio de refrigerante y los riesgos ambientales. Se propondrán estrategias específicas para minimizar estos impactos en la gestión de refrigerantes en desuso, alineadas con los objetivos establecidos.

### 9.3. Variables

Para la evaluación del proyecto, se presentan las siguientes variables.

**Tabla 3.**

*Variables que se analizarán en el proyecto*

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Cantidad de equipos de refrigeración.	Estimación del número de equipos de refrigeración que han llegado al final de su vida útil y que serán desechados en un período específico.	Se mide en unidades el número de equipos de refrigeración desechados en un tiempo estipulado de acuerdo con su vida útil.
Generación de refrigerante como residuo.	Se refiere a la cantidad y tipo de refrigerantes generados al desechar los equipos de refrigeración al final de su vida útil.	Medición de la masa total de refrigerantes generados en kilogramos (Kg) y clasificación de estos.
Potencial de Calentamiento Global.	Hace referencia a las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero y, por lo tanto, al calentamiento global. La escala de PCG se basa en comparar el efecto de un compuesto específico como en CO <sub>2</sub> de PGC igual a 1 a la cantidad de masa de otro gas sumado al calentamiento global, este por lo tanto se enfoca en los gases refrigerantes liberados durante el manejo de los equipos de refrigeración al final de su vida útil, como los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y otros de alto potencial de calentamiento global.	Medición de las emisiones de gases de efecto invernadero expresadas en tCO <sub>2</sub> eq (toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente) liberadas durante el manejo y tratamiento de los equipos.
Potencial de agotamiento de ozono.	La escala de PAO se basa en comparar el efecto de un compuesto específico en la destrucción del ozono con el efecto de una cantidad igual en masa de triclorofluorometano (CFC-11). Se toma como referencia un PAO de 1 para el CFC-11, y luego, las demás sustancias se comparan con esta referencia.	Se mide con número adimensional (Toneladas PAO) que representa la cantidad de ozono que se agotaría si se liberara una cierta cantidad de la sustancia en la atmósfera.
Consumo de recursos como el refrigerante	Se refiere a la cantidad de refrigerante como recurso valioso que compone y este contenido en los equipos de refrigeración que se desaprovechan o que se pueden aprovechar durante el proceso de su manejo adecuado al final de su vida útil.	Medición del consumo total de refrigerantes, expresados en kilogramos (Kg)
Reducción de riesgos ambientales.	Es el grado en que el plan de gestión ambiental disminuye la probabilidad de impactos ambientales negativos, asociados con el manejo inadecuado de los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración en desuso.	Se mide el grado o el porcentaje (%) de reducción en el análisis de posibles riesgos evitados.

*Nota.* Detalle de variables por evaluar e interpretar en el proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

#### **9.4. Fases de estudio**

El estudio se efectuará en tres fases, la cuales se describen a continuación:

- Fase uno: recopilación y revisión de información

En esta fase, se realizó una revisión de la situación actual de refrigerantes y los equipos de refrigeración, al final de su vida útil, en la industria de Guatemala. Esto incluye identificar los tipos de equipos y sus problemas ambientales, asociados al manejo inadecuado del refrigerante contenido en estos y analizar los impactos negativos en el entorno. Además, se investiga la importancia este problema, resaltando los beneficios que se pueden obtener de una gestión adecuada.

Esta fase también implica revisar la normativa nacional e internacional relacionada con el manejo de refrigerantes. Se investiga las buenas prácticas internacionales y regionales, relacionadas con la gestión ambiental de los refrigerantes y equipos de refrigeración al final de su vida útil. Se recopila datos específicos sobre la estimación de la cantidad de equipos de refrigeración desechados en Guatemala que pueden contener refrigerantes, así como las causas que generan los impactos ambientales asociados a su gestión.

- Fase dos: análisis de la información

Basado en la información recopilada y revisada, se evalúan las prácticas actuales y los impactos ambientales asociados. Esto incluye las prácticas seguras del manejo de refrigerantes al final de su vida útil, desde su recuperación, almacenaje temporal hasta su preparación para ser enviado a los

centros de reciclaje. Además, incluye parte de los impactos ambientales, la identificación y análisis de la cantidad y tipo de refrigerantes liberados al ambiente. Se busca analizar las normativas ambientales aplicables para Guatemala, así como la tecnología necesaria para cada uno de los procesos.

- Fase tres: desarrollo de propuesta de plan y estrategias

Una vez completadas las fases anteriores, se incluyen las estrategias para reducir los impactos ambientales, las tecnologías apropiadas para el manejo de los refrigerantes y la implementación de medidas de prevención y mitigación. Esto abarca las prácticas recomendadas y la tecnología necesaria para cada proceso adaptables para la industria en Guatemala. Además, se muestran los beneficios ambientales que se obtienen al implementar un plan de gestión ambiental en el manejo de los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración al final de su vida útil, que cumplan con la normativa vigente a nivel nacional e internacional.



## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Para llevar a cabo el estudio, se aplicarán diversas técnicas de recopilación y observación de datos relevantes, para obtener información útil y facilitar su análisis. En seguida, se plantea un enfoque detallado sobre cómo llevar a cabo estas técnicas.

### **10.1. Técnicas de observación de información**

Para la observación de datos se cuenta con las siguientes técnicas de análisis:

#### **10.1.1. Análisis cuantitativo**

- Gráficos circulares: permite identificar la tasa de emisiones de contaminación y gas de efecto invernadero que generan los equipos de refrigeración desechados, por medio de los refrigerantes y el volumen de estos componentes que pueden ser reutilizables.
- Gráficos de líneas: a través del uso de datos numéricos recopilados, como volúmenes de equipos de refrigeración proyectados para ser desechados y tasas de emisiones de efecto invernadero de los refrigerantes contenido en equipos desechados.
- Indicadores ambientales: para identificar y predecir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en CO<sub>2</sub> equivalente y otros indicadores clave, como potencial de calentamiento global y potencias de

agotamiento de ozono, para evaluar el impacto ambiental de las prácticas actuales y futuras en el manejo de los refrigerantes al final de su vida útil.

### **10.1.2. Análisis cualitativo**

- Diagrama de Ishikawa: permite evaluar las posibles causas de impactos ambientales, generados por las prácticas actuales de gestión del manejo del refrigerante al final de su vida útil. Esto podría incluir la identificación de sustancias peligrosas, la contaminación y los posibles riesgos para la salud humana.
- Investigación documental: obtención de información teórica para ser utilizada como fuente de consulta y uso en el desarrollo de la investigación. La información obtenida es sobre la gestión ambiental, medio ambiente, seguridad, prácticas actuales y las normativas vigentes en el manejo de los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración.

### **10.2. Técnicas de recopilación de datos**

- Revisión documental: consiste en verificar informes, estudios, documentación técnica y legislación para obtener información relacionada con la gestión y las mejores prácticas en el manejo de los refrigerantes al final de su vida útil, que podrían aplicarse en el contexto guatemalteco. Esto proporcionará una base sólida para comprender la normativa vigente y las prácticas actuales en el manejo de estos componentes.

- Bases de datos: hacer un análisis de datos recopilados a través de verificaciones e informes relacionados con el volumen de equipos de refrigeración del sector industrial importado en Guatemala, así como el porcentaje y tipo de refrigerante que utiliza cada equipo, para identificar los volúmenes y categorizar los equipos de acuerdo con el refrigerante. Lo anterior tiene la finalidad de comprender cada uno de estos datos y establecer medidas estratégicas.

El presente diseño de investigación es no experimental porque no implica la manipulación deliberada de variables ni la realización de experimentos controlados. Se pretende proponer un plan de gestión ambiental que ayude a la industria de refrigeración, para manejar adecuadamente los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración, al final de su vida útil. Se busca reducir impactos ambientales y cumplir con las normativas vigentes, por lo tanto, se presenta el siguiente esquema:

- Recopilación de información y datos
- Tabulación de datos
- Identificación de volúmenes de equipos, refrigerantes e impactos ambientales, riesgos asociados a las practicas actuales en el manejo de los refrigerantes contenidos en los equipos de refrigeración, al final de su vida útil, utilizando datos obtenidos en las observaciones, bases de datos y documentos.
- Investigar y proponer a partir de las evaluaciones y datos obtenidos en la comparación de información de prácticas actuales, indicadores ambientales y análisis de contaminantes y riesgo.

- Definir las medidas estratégicas para la gestión de la mejora en las prácticas actuales, que permitan comprender los impactos que se pueden mitigar en el manejo de los refrigerantes contenidos en los equipos para ser desechados y los beneficios de su aplicación.





## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Dado que el estudio se efectuará en la entidad donde labora el estudiante, se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo una investigación integral y efectiva; los recursos y servicios que corresponden a la maestría serán proporcionados por el estudiante. Para el desarrollo de la presente investigación se destinan los siguientes costos:

**Tabla 4.**

*Presupuesto de recursos requeridos*

No.	Recurso	Descripción	Costo	%
1.	Humano	Honorarios del investigador	Q 6,000.00	57.89
2.	Humano	Honorarios del Asesor de trabajo de investigación	Q 2,000.00	19.30
4.	Tecnología	Equipo de cómputo; <i>software</i>	-----	-----
5.	Servicios	Internet	Q 345.00	3.33
6.	Servicios	Energía eléctrica	Q 370.00	3.57
7.	Transporte	Combustible	Q 1,200.00	11.58
8.	Materiales	Papelería y útiles	Q 450.00	4.34
<b>TOTAL</b>			<b>Q 10,365.00</b>	<b>100</b>

*Nota.* Detalle del presupuesto requerido para la realización del estudio. Elaboración propia, realizado con Excel.



## REFERENCIAS

- Arnabat, I. (9 de noviembre de 2018). *Impacto de los refrigerantes en el medio ambiente: pasado, presente y futuro*. Caloryfrio.com:Portal Sectorial de las Instalaciones. <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/impacto-refrigerantes-en-medio-ambiente.html#:~:text=La%20mayor%C3%ADa%20de%20los%20refrigerantes,de%20la%20capa%20de%20ozono>
- D'Angelo, M., Durán, A., García, M., López, A., Passalía, C., Regaldo, L., Reno, U., Scaravino, C. y Vidal, E., (2022). *Gestión ambiental: introducción a sus instrumentos y fundamentos*. Ediciones UNL. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/6604>
- ECOLEC. (s.f.). *Sobre los RAEE*. ECOLEC Fundación. <https://ecolec.es/informacion-y-recursos/sobre-los-raee/>
- Espiñeira, P. (20 de junio de 2022). *Guía de equipos de refrigeración comercial y frío industrial ¿Qué soluciones existen?* Caloryfrio.com Portal Sectorial de las Instalaciones. <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/frío-industrial/equipos-refrigeracion-comercial-frío-industrial-soluciones.html>
- Fogolino, V. (2022). *Diseño integral para la gestión y valorización de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. UNSAM.
- Heubes, J. (2017). *Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados*. GIZ Proklima.

Instituto Nacional de Normalización. (2015). *Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y climatización*. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. <https://ozono.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/04/Buenas-Practicas-en-Sistemas-de-Refrigeracion-y-Climatizacion.pdf>

Ley de Protección y Mejoramiento de Medio Ambiente. Decreto 68–86. (19 de noviembre de 1986). Congreso de la República. Diario de Centroamérica No. 27 tomo CCXXX. Guatemala. [https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info\\_legislativo/decretos/1986/gtdcx00681986.pdf](https://www.congreso.gob.gt/assets/uploads/info_legislativo/decretos/1986/gtdcx00681986.pdf)

Ley del Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono. Decreto 34-89. (5 de julio de 1989). Congreso de la República de Guatemala. Diario de Centroamérica No. 63 tomo CCXXXVI. Guatemala. [https://www.congreso.gob.gt/detalle\\_pdf/decretos/1605#gsc.tab=0](https://www.congreso.gob.gt/detalle_pdf/decretos/1605#gsc.tab=0)

Ley del Protocolo de Montreal relativo a las Substancias Agotadoras de la Capa de Ozono. Decreto 39-87. (28 de julio de 1987). Congreso de la República de Guatemala. Diario de Centroamérica No. 74 tomo CCXXXI. Guatemala. [https://www.congreso.gob.gt/detalle\\_pdf/decretos/1749](https://www.congreso.gob.gt/detalle_pdf/decretos/1749)

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *Buenas prácticas en los procesos de instalación y Mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire Acondicionado*. MARN.

- Ministerio de Ambiente. (s.f.). *Indicadores Ambientales*. Ministerio de Ambiente, Perú. <https://www.minam.gob.pe/investigacion/indicadores-ambientales/#>
- Moie, J. (2019). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016)*. GIZ Proklima.
- Nižetića S., Djilali, N., Papadopoulos, A. & Rodrigues, J. (2019). Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management. *Journal of Cleaner Production*, 231, 565-591. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619314982>
- Palafox, P., Khosla, R., McElroy, C. y Miranda, N. (2022). Circular economy for cooling: A review to develop a systemic framework for production networks. *Journal of Cleaner Production*, 379(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622043104>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2015). *Normas Internacionales de Refrigeración y Aire Acondicionado*. PNUMA. [http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/setor\\_manufatura Equipamentos refrigeracao arcondicionado/Normas Internacionales de Refrigeracin y Aire Acondicionado.pdf](http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/setor_manufatura Equipamentos refrigeracao arcondicionado/Normas Internacionales de Refrigeracin y Aire Acondicionado.pdf)
- Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente. (2013). *Manual acción por el ozono para la capacitación de autoridades de aduana y otros oficiales de aplicación de la ley*. PNUMA. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26931/7571CT\\_M\\_3rdedition\\_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26931/7571CT_M_3rdedition_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Registro Estatal de Emisiones de Fuentes Contaminantes. (s.f.). *Viceconsejería del Medio Ambiente PRTR*. Castilla-La Mancha. <https://www.castillalamancha.es/gobierno/desarrollosostenible/estructura/vicmedamb/actuaciones/registro-estatal-de-emisiones-y-fuentes-contaminantes-prtr#:~:text=El%20Registro%20PRTR%2DEspa%C3%B1a%20es,la%20transferencia%20de%20residuos%20fuera>

Rossi, M., Favi, C., Germani M. & Omicioli, M. (2021). Comparative life cycle assessment of refrigeration systems for food cooling: eco-design actions towards machines with natural refrigerants. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6), 1623-1646. <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19397038.2021.1970274?needAccess=true>

Saavedra, M. L., Sánchez, B. & Aguilar, M. (2023). La gestión ambiental en la pyme de la Ciudad de México. *Revista Digital Ciencias Administrativas*, 23. <https://www.redalyc.org/journal/5116/511674246003/html/>

Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales. (13 de agosto de 2018). *Impacto Ambiental y Tipos de Impacto Ambiental*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>

Sovacool, B., Griffiths, S., Kim, J., & Bazilian, M. (2021). Climate change and industrial F-gases: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions. *Journal of Cleaner Production*, 141.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403212100054X>

Tecener SA de CV. (2015). *Sistemas de refrigeración tutorial para el trabajo en campo*. Oficina de Representación de la GIZ en México. [https://energypedia.info/images/2/27/GIZ\\_Tutorial\\_Refrigeraci%C3%B3n\\_2015.pdf](https://energypedia.info/images/2/27/GIZ_Tutorial_Refrigeraci%C3%B3n_2015.pdf)

Velásquez, O., Lovik, A. y Moreno, C. (2021). Evaluación del impacto ambiental de refrigeradores al final de su vida útil en Colombia mediante análisis de flujo de materiales. *Revista de Producción más limpia*, 314. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621021028>

Xiao, R., Zhang, Y., & Yuan, Z. (2016). Environmental impacts of refrigerator recovery and recycling processes using life cycle assessment (LCA) methods. *International Journal of Sustainable Engineering*, 131, 52-59. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616305492>

