



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y
PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064-1 EN UNA
EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Mario Geovani Quino Chicoj

Asesorado por M.A. Ing. Juan Carlos Jeréz Juárez

Guatemala, febrero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y
PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064-1 EN UNA
EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO GEOVANI QUINO CHICOJ

ASESORADO POR M.A. ING. JUAN CARLOS JERÉZ JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Herberth Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Rigoberto Rafael Sandoval López
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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y
PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064-1 EN UNA
EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 10 de abril de 2023.

Mario Geovani Quino Chicoj



EEPFI-PP-0381-2023

Guatemala, 21 de abril de 2023

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela De Ingeniería Mecánica
Presente.

Estimado Ing. Morales

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 INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064 1 EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y manejo ambiental - Estimación de huellas ecológicas y medidas de mitigación**, presentado por el estudiante **Mario Geovani Quino Chicoj** carné número **201213127**, 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 Energía Y Ambiente.

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"


Juan Carlos Jeréz Juárez
Ingeniero Industrial
Col. 13,614
Mtro. Juan Carlos Jeréz Juárez
Asesor(a)


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería




EEP-EIM-0380-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingenieria 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 INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064 1 EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Mario Geovani Quino Chicoj**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, abril de 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, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064-1 EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Mario Geovani Quino Chicoj** 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: 16/02/2024 15:34:06
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, febrero de 2024

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Mario Quino Tuy (q. e. p. d.), y Berta Chicoj. Su amor, ejemplo y apoyo incondicional me han permitido crecer en todos los aspectos de mi vida.

Mis hermanos

Dayana, Bryan, Javier y Marvin Quino. Por su apoyo, su cariño constante, y su aliento para alcanzar mis metas.

Mi abuela

Juana Cotzajay (q. e. p. d.), por haber sido parte fundamental en mi vida, siempre mostrándome su apoyo y amor incondicional.

Mi tío

Lorenzo Chicoj, mi eterno agradecimiento por brindarme su apoyo, y buenos consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, y por brindarme los conocimientos, habilidades y experiencias necesarias para alcanzar mis objetivos académicos.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme formación integral y por su constante compromiso en la excelencia académica.

**Mis amigos y
compañeros de estudio**

Cristian Ruiz, Ronald Castillo, Jeremy Vilchez, Gabriel Herrera, Verónica Hernández, por su apoyo y amistad en esta etapa de mi vida.

**Los que colaboraron con
su tiempo y asesoría en
la realización de este
trabajo**

Muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Formulación de preguntas de investigación	7
2.1.1. Pregunta principal.....	7
2.1.2. Preguntas auxiliares	7
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	11
5. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1. Cambio climático	13
5.2. Calentamiento global	13
5.3. Potencial de calentamiento global (PCG)	14
5.4. Factor de emisión (FE)	15
5.5. Efecto invernadero	16
5.6. Gases que aportan significativamente al efecto invernadero ..	18

5.6.1.	Dióxido de carbono (CO ₂)	19
5.6.2.	Metano (CH ₄)	19
5.6.3.	Óxido nitroso (N ₂ O)	20
5.6.4.	Ozono (O ₃)	20
5.6.5.	Halocarbonos	20
5.6.6.	Gases fluorados	21
5.7.	Sumidero de GEI	21
5.8.	Fuentes de GEI	22
5.9.	Huella de carbono	22
5.10.	Las fuentes de emisiones.....	23
5.10.1.	Emisiones directas	23
5.10.2.	Emisiones indirectas	24
5.11.	Neutralidad de carbono	24
5.12.	Dióxido de carbono equivalente (CO _{2e}).....	25
5.13.	Técnicas para medir la huella de carbono.....	25
5.13.1.	Huella de carbono enfocada a empresas.....	26
5.13.1.1.	Técnica del protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol)	28
5.13.1.2.	Técnica basada en la norma ISO 14064-1	28
5.14.	Estrategias para reducir la huella de carbono	30
5.14.1.	Estrategias para reducir la huella de carbono asociada con las emisiones de los alcances 1 y 2 ..	31
5.14.1.1.	Adquisición de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables.....	31
5.14.1.2.	Evitar los consumos innecesarios de energía eléctrica.....	31

5.14.1.3.	Utilizar equipos que tengan una menor demanda energética	32
5.14.1.4.	Diminución de emisiones generadas por la quema de hidrocarburos	33
5.14.2.	Estrategias para reducir la huella de carbono asociada con las emisiones del alcance 3	34
6.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35
7.	MARCO METODOLÓGICO	39
7.1.	Tipo de estudio	39
7.2.	Diseño de investigación.....	39
7.3.	Variables de estudio	39
7.4.	Fases metodológicas para la medición de la huella de carbono.....	41
7.4.1.	Fase 1: definición de límites	42
7.4.1.1.	Definición de límites organizacionales.	43
7.4.1.2.	Definición de límites operativos	44
7.5.	Fase 2: selección del año base	44
7.6.	Fase 3: identificación de las emisiones	45
7.6.1.	Identificación de emisiones directas de GEI	45
7.6.2.	Identificación de emisiones indirectas de GEI	46
7.6.3.	Identificación de otras emisiones indirectas de GEI	47
7.7.	Fase 4: cuantificación de las emisiones	48
7.7.1.	Paso 1	49
7.7.2.	Paso 2	49
7.7.3.	Cálculo de la huella de carbono.....	50
7.8.	Fase 5: informe de resultados	51

8.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN	53
8.1.	Herramientas de recolección de datos	53
8.2.	Herramientas estadísticas	53
9.	CRONOGRAMA	55
10.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	57
	REFERENCIAS.....	59
	APÉNDICES.....	63
	ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Efecto invernadero	18
Figura 2. Parte proporcional que representan varios GEI de origen antropogénicos	19
Figura 3. Clasificación de las emisiones de GEI de acuerdo con sus alcances.....	27
Figura 4. Diagrama organizacional de la empresa objeto de estudio.....	43

TABLAS

Tabla 1. Potencial de calentamiento global 100 años de los principales GEI...	15
Tabla 2. Factores de emisión	16
Tabla 3. Variables por analizar	40
Tabla 4. Fases metodológicas para estimar la huella de carbono.....	42
Tabla 5. Definición de límites operativos	44
Tabla 6. Identificación de emisiones directas de GEI	46
Tabla 7. Identificación de emisiones indirectas de GEI	47
Tabla 8. Identificación de otras emisiones indirectas de GEI	48
Tabla 9. Emisiones totales de GEI en CO ₂ e y su aporte a la huella de carbono	50
Tabla 10. Identificación de las fuentes que aportan GEI a la huella de carbono	51
Tabla 11. Identificación de las áreas de la empresa que aportan GEI a la huella de carbono.....	51

Tabla 12. Porcentaje de emisiones de GEI	52
Tabla 13. Cronograma de actividades para determinar la huella de carbono ...	55
Tabla 14. Recursos económicos necesarios para la ejecución de la investigación	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
gal	Galón
g	Gramo
SF ₆	Hexafluoruro de azufre, es un gas utilizado en algunas aplicaciones industriales que contribuye al calentamiento global. Es considerado uno de los gases de efecto invernadero más potentes
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
kWh	Kilovatio hora
CH ₄	Metano, es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global
m ³	Metro cúbico
N ₂ O	Óxido nitroso, es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global
%	Porcentaje
ton CO _{2e}	Tonelada de dióxido de carbono equivalente

GLOSARIO

GEI	Es la sigla de "Gases de Efecto Invernadero", que son aquellos gases presentes en la atmósfera que atrapan el calor y contribuyen al efecto invernadero, es decir, al calentamiento de la Tierra.
GHG	Son las siglas en inglés de "Greenhouse Gas", es decir, gas de efecto invernadero. Se refiere a los gases que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al calentamiento global.
HC	Son las siglas de huella de carbono, una medida de la cantidad de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono, que son emitidos a la atmósfera por una entidad (por ejemplo, una empresa, una organización o un individuo) como resultado de sus actividades.
HFC	Son las siglas en inglés de hidrofluorocarbono. Es un gas utilizado en algunos sistemas de refrigeración y aire acondicionado que contribuye al calentamiento global.
ISO	Siglas de la "International Organization for Standardization", es decir, la Organización

Internacional de Normalización. Es una organización que desarrolla estándares internacionales en una amplia variedad de campos, incluyendo la gestión ambiental.

PCG

Es una sigla que se refiere al "Potencial de Calentamiento Global" de un gas de efecto invernadero. Es una medida que se utiliza para comparar el impacto que tienen diferentes gases en el calentamiento global, tomando en cuenta su capacidad para atrapar el calor en la atmósfera y su duración en la atmósfera.

PFC

Siglas de perfluorocarbono. Es un gas utilizado en algunas aplicaciones industriales que contribuye al calentamiento global.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad medir el impacto ambiental que se genera por las operaciones de una empresa industrial en Guatemala, asimismo se darán las directrices por seguir para mitigar las emisiones totales de dióxido de carbono.

Para obtener la información necesaria para llevar a cabo el estudio, se realizará una recopilación de datos del histórico de consumos de energía eléctrica, combustibles fósiles, e insumos, para ello se necesitará el apoyo del personal interno de la empresa, específicamente de los encargados de área o departamentos.

Se espera que, a partir de la información obtenida, y de la metodología a aplicar, se pueda determinar la huella de carbono empresarial, y con base en ello, identificar áreas de mejora en la empresa, y mitigar el impacto ambiental.

OBJETIVOS

General

Estimar la huella de carbono siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14064-1 y establecer las medidas que lleven a su neutralización en una empresa industrial de la ciudad de Guatemala.

Específicos

1. Identificar las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero producto de los procesos de una empresa industrial en la ciudad de Guatemala.
2. Cuantificar emisiones de gases de efecto invernadero producto de las operaciones de una empresa industrial en la ciudad de Guatemala.
3. Establecer las medidas con base en la norma ISO 14064-1 para alcanzar la neutralización de carbono en una empresa industrial en la ciudad de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se ha identificado un aumento en las emisiones de CO₂ generadas por las operaciones diarias del sector industrial. Este problema no solo afecta al medio ambiente, sino que también representa pérdidas económicas a las empresas debido al alto consumo energético. Asimismo, contribuye al calentamiento global y a la generación de gases de efecto invernadero, lo que aumenta la preocupación por la sostenibilidad ambiental.

Ante esta problemática, se propone la realización de una investigación que permita la estimación de la huella de carbono de una empresa ubicada en la ciudad de Guatemala, asimismo se propondrán directrices para alcanzar la neutralización, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14064-1. Esta solución se destaca en cuanto a relevancia, ya que permitirá identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y a la vez, proponer estrategias que mejoren la eficiencia en las operaciones, reduzcan la huella de carbono, y que promuevan la sostenibilidad empresarial.

Se espera que esta investigación arroje resultados precisos y significativos sobre la cantidad de CO₂ emitido por la empresa y la factibilidad de neutralizar las emisiones. Además, se generará información valiosa sobre el consumo energético de la empresa y su contribución al cambio climático. En cuanto a los beneficios que se obtendrán, se incluye la toma de conciencia sobre la necesidad de proteger el medio ambiente, la implementación de políticas de sostenibilidad, la reducción de costos por parte de la empresa, y la mejor de la imagen empresarial.

La metodología que se utilizará en esta investigación incluirá la recopilación de información sobre las emisiones de CO₂, asimismo, se seguirán los lineamientos de la norma ISO 14064-1. Por lo tanto, se realizará la medición del consumo energético de la empresa, se obtendrán los historiales de facturas de energía eléctrica, el consumo de combustible fósil, el consumo de insumos como el papel y el agua potable. Al seguir en la misma línea, se tomará este conjunto de datos, y con el apoyo de tablas de equivalencia, se trasladarán todos los datos a una única medida estandarizada, el dióxido de carbono equivalente. En cuanto a los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación se contará con equipo de cómputo y de software, de igual manera, los gastos que conlleve la realización de la investigación correrán a cargo del autor de la esta.

Para proporcionar una idea clara del proyecto por realizar, se desarrollarán varios capítulos, entre ellos, en el capítulo uno se realizará una investigación bibliográfica que fundamente teóricamente el problema por resolver, asimismo, servirá como base en nuestra metodología por aplicar, en el capítulo dos se dan los lineamientos metodológicos por seguir para ejecutar la investigación, en este capítulo se detallan los pasos por desarrollar, así como las técnicas de investigación que se llevarán a cabo. Por último, se realizará la presentación de los resultados que se obtengan y las conclusiones del estudio llevado a cabo, de igual manera se harán recomendaciones para la mejora continua.

1. ANTECEDENTES

A pesar de la relevancia del tema, en Guatemala no fue posible encontrar antecedentes recientes acerca del cálculo de la huella de carbono a nivel empresarial y de las acciones por tomar para la neutralidad de esta, sin embargo, en otros países se encontraron investigaciones en las cuales el factor común es el uso de la norma ISO 14064-1 y del GHG Protocol para realizar la determinación de la huella de carbono de las instituciones de interés. A continuación, se presentan las de mayor relevancia.

Crispín, (2018) en su proyecto de investigación titulado *Determinación de la huella de carbono de la empresa JRC Ingeniería y Construcción SAC en la unidad minera el Brocal*, aplicó las pautas que se indican en el Protocolo Global para inventarios de GEI, logrando obtener como resultado, que la HC de la empresa en cuestión fue de 814.71 tCO₂eq durante el período 2017-2018. Luego de realizar el estudio correspondiente, se identificó que la principal fuente de emisiones de CO₂ fue el consumo de electricidad, lo cual representó el 51 % del total de emisiones cuantificadas. Como medida de mitigación, el autor sugiere la plantación de especies de bambú y molle, que podrían retener, respectivamente, 15.21 y 0.286 t/ha/año de CO₂eq.

Granada, (2020) en su trabajo de investigación titulado *Inventario de gases de efecto invernadero en la sede central del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) y propuesta de información para alcanzar la neutralidad de mantenimiento*, elaboró un inventario de GEI para cuantificar la totalidad de estos gases que fueron expulsados a la atmósfera. A partir de los resultados obtenidos, se concluyó que los principales focos de emisiones de GEI corresponden a la

combustión estacionaria y móvil, lo cual representa el 85 % del total de GEI emitidos por la organización objeto del estudio.

Garay (2021) en su tesis de maestría titulada *Determinación de la huella de Carbono en el cultivo y procesamiento del café y estrategias para su reducción*, se enfatiza que, para medir la HC, es necesario identificar las fuentes que generan carbono, tanto directas, como indirectas. El autor llevó a cabo una cuantificación de los GEI emitidos por la organización y estimó las fuentes y sumideros de GEI en cada etapa del proceso, desde la fabricación del producto hasta la entrega del mismo. En sus resultados, se concluyó que una de las medidas más efectivas para mitigar los GEI es la compra de bonos de carbono.

Torres, Snmith & Altamar (2021) realizaron titulado el estudio *Formulación de estrategias ambientales a partir de la huella corporativa de la empresa Sudelec S.A.*, se realizó un análisis exhaustivo de los consumos energéticos de la empresa durante su ciclo productivo, aplicando la guía para los inventarios organizacionales de GEI para calcular su huella de carbono. A partir de este método, se cuantificó la cantidad de GEI emitidos por la empresa a la atmósfera, considerando tanto las emisiones directas como las indirectas, durante un año natural. Los resultados obtenidos indican que, durante el año 2017, el 77.55 % la cuantificación total de emisiones de GEI correspondió a fuentes de emisión directas, siendo los combustibles fósiles y el uso de gas propano las principales responsables.

Ferret *et al.*, (2021) en el artículo titulado *Huella de carbono de la Universidad Técnica de Machala durante el período 2018-2020*, utilizaron las directrices de la norma ISO 14064-1:2006 y del GHG Protocol para determinar la HC de la universidad en los años 2018, 2019 y 2020. Después de analizar los datos, se encontró que la huella de carbono total en los años mencionados fue

de 16803 tCO₂/año, 15400 tCO₂/año y 1503 tCO₂/año, respectivamente. Los autores también pudieron notar que el consumo de agua y la generación de desechos sólidos representan el 94 % del total de las emisiones de CO₂ de la universidad.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Frecuentemente, las empresas que realizan sus actividades en Guatemala no otorgan la debida relevancia a las consecuencias negativas que generan en el entorno natural, y que son resultado de sus operaciones. La contaminación del medio ambiente resulta como consecuencia de varios focos relacionados a las actividades humanas, algunas de ellas son la industria, la agricultura, los residuos y los transportes. De acuerdo con los inventarios de gases de efecto invernadero, realizados por el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático (SNICC), se ha observado un incremento en las emisiones. Con relación al sector Industria, para el año 2021 se emitieron 13,609,087 tCO₂ equivalente, y se pronóstica que para el año 2030, éstas cifras lleguen a 21,846,130 tCO₂ equivalente. Estas emisiones corresponden en su mayoría a la quema de combustibles, y al consumo de energía eléctrica, mismas que se producen diariamente en las empresas.

Tal y como se indicó anteriormente, el consumo de energía eléctrica de las empresas se traduce en altas emisiones de GEI, esto se debe a la baja eficiencia energética de presentan los equipos con los que se cuentan en las empresas, equipos tales como motores eléctricos, aires acondicionados, e incluso el alumbrado eléctrico, en muchas ocasiones se tiene un mal dimensionamiento de las instalaciones eléctricas. Derivado de lo anterior, el consumo de energía eléctrica aumenta, lo que, como bien se ha dicho, repercute en las emisiones de GEI. Por otro lado, el bajo control interno sobre actividades cotidianas que generan contaminación ambiental también representa una fuente de emisiones de GEI no cuantificadas.

Actividades tales como beber agua en botellas de plástico, el uso de papel de oficina, el combustible que se utiliza por parte de los colaboradores para llegar a la empresa y regresar a sus hogares, o incluso la baja eficiencia en las rutas de entrega por parte del Departamento de Logística de una empresa, hace que los aportes de GEI a la huella de carbono de la empresa sean significativas. En cuanto a las áreas operativas, es frecuente que en la industria se cuenten con motores de combustión interna estacionarios, ya sean de diésel o gasolina, lo cual representan un foco importante de contaminación, tanto por los gases de combustión liberados a la atmósfera, como por el combustible que se consume diariamente.

Otro aspecto es la poca información a nivel institucional sobre métodos para mitigar y disminuir el impacto ambiental generado a nivel individual y empresarial, hace que los colaboradores no cuenten con una cultura ambiental, y que desconozcan las medidas por utilizar para aportar un cambio positivo en el ambiente y ser parte de un desarrollo sostenible de la organización. Hay que destacar que tampoco existe interés de las personas internas de la organización por implementar medidas para reciclar basura, por lo que, se desecha la basura en recipientes cualquiera, en los cuales tampoco se realiza una separación de residuos para identificar materiales que puedan llegar a ser reutilizados, y de los que son propiamente basura. Esto también repercute en la emisión de GEI a la atmósfera, ya que de acuerdo a la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), una tonelada de desechos que es eliminada en un vertedero genera 4.2 tCO₂ equivalente.

Derivado de lo anterior, se obtiene una organización empresarial que puede llegar a tener un mayor gasto económico debido a la baja eficiencia energética, lo cual contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, y al calentamiento global en general.

En consecuencia, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

2.1. Formulación de preguntas de investigación

A continuación, se presenta la pregunta central y las auxiliares.

2.1.1. Pregunta principal

¿Cuál es la huella de carbono de una empresa industrial en la ciudad de Guatemala, de acuerdo con los lineamientos que establece la norma ISO 14064-1, y cuáles son las propuestas para alcanzar la neutralización de la esta?

2.1.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las principales fuentes generadoras de CO_{2e} de una empresa industrial en la ciudad de Guatemala?
- ¿Cuánto CO_{2e} generan las operaciones de una empresa industrial en la ciudad de Guatemala?
- ¿De qué manera se pueden aplicar las medidas establecidas por la norma ISO 14064-1 para mitigar las emisiones totales de CO_{2e} de una empresa industrial en la ciudad de Guatemala?

3. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de huellas ecológicas y medidas de mitigación de la Maestría de Energía y Ambiente.

En este proyecto de investigación se busca conocer el impacto ambiental generado por las operaciones de una empresa, por medio de la medición de su huella de carbono. La importancia de esta medición radica en que permitirá identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y, a partir de ello, proponer estrategias que mejoren la eficiencia en las operaciones, reduzcan la huella de carbono y que promuevan la sostenibilidad empresarial.

Entre los productos que se esperan obtener a partir de esta investigación se incluye un análisis detallado de la huella de carbono de la empresa y un conjunto de estrategias para reducirla. Además, se generará información valiosa sobre el consumo energético de la empresa y su contribución al cambio climático, lo que permitirá tomar decisiones más informadas y conscientes acerca de la gestión empresarial.

Los beneficios que se obtendrán de esta investigación se extienden tanto a la empresa objeto de estudio como a la sociedad en general. En primer lugar, la empresa podrá identificar oportunidades de mejora en sus operaciones y reducir costos asociados al consumo de energía. De igual manera, se promoverá una cultura de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, lo que puede mejorar la imagen y reputación de la empresa ante clientes, proveedores y otros grupos de interés. Por otro lado, la sociedad se beneficiará al reducirse las emisiones de

gases de efecto invernadero y, por ende, mitigar los impactos del cambio climático.

En cuanto al ámbito profesional, este estudio es relevante porque promoverá la adopción de prácticas sostenibles en el sector empresarial, lo que es cada vez más importante en un mundo que enfrenta los retos ambientales crecientes. Asimismo, los resultados obtenidos pueden ser útiles para otras empresas interesadas en medir y reducir su huella de carbono, lo que promoverá la difusión de prácticas sostenibles en el sector empresarial. En síntesis, este estudio es relevante y pertinente en un contexto en el que se busca conciliar el desarrollo empresarial con la sostenibilidad social.

4. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Por medio de la presente investigación se buscará dar la información necesaria a una empresa acerca del impacto ambiental que se produce debido a sus operaciones. Para ello se realizará el cálculo de la huella de carbono en la empresa, y se identificarán qué áreas son las que aportan una mayor emisión de gases de efecto invernadero, en unidades de CO₂ equivalente. Al obtener los resultados cuantificados se podrán realizar propuestas de mejora.

Por lo tanto, es necesario calcular la huella de carbono empresarial, ya que al tener cuantificadas las emisiones de la empresa, se pueden aplicar acciones que permitan la reducción de las emisiones, en ese sentido, se podrán implementar políticas de reciclaje internas en la organización, y realizar charlas de información con los colaboradores de esta, esto con la finalidad de lograr prácticas de parte de los colaboradores que sean amigables con el medio ambiente.

Además, esta investigación aportará la información necesaria a las altas gerencias de la empresa para que se evalúe la inversión de proyectos de energías renovables, y mostrar los pros tanto económicos como ambientales de migrar a fuentes de energías renovables, tales como paneles solares. De igual manera, con la implementación de fuentes de energía renovables se disminuirá la huella de carbono empresarial y asimismo se obtendrán ahorros económicos en cuanto a energía eléctrica se refiere. Al seguir en la misma línea, a partir de la huella de carbono se podrán identificar equipos que presenten una baja eficiencia energética, debido a que ya sean obsoletos, o porque necesiten que se les realice mantenimiento.

5. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se proporcionará una visión general de las teorías y conceptos que sustentan la investigación, y como se relacionan con los objetivos planteados en el estudio.

5.1. Cambio climático

Ciertamente, el cambio climático es una verdad demostrada científicamente, y es un acontecimiento que la humanidad ha presenciado en repetidas ocasiones durante las últimas décadas. El cambio climático puede ser causa de los procesos naturales internos, o de fuerzas externas, así como por actividades antropogénicas en curso. En el mismo orden de ideas, y en un sentido más amplio, es posible afirmar que las variaciones del clima, es una variación en las condiciones climáticas y que es provocado de manera directa o de manera indirecta por las acciones de la humanidad, de igual manera, modifica la composición gaseosa de la atmósfera de la Tierra, genera cambios climáticos naturales más intensos en intervalos de tiempo similares, (Sethi, 2017).

5.2. Calentamiento global

De acuerdo con Venkataramanan & Smitha, (2011) expresan que el fenómeno del calentamiento global se presenta cuando la temperatura promedio del planeta aumenta gradualmente. Este proceso puede ocasionar un aumento en la frecuencia y la intensidad de eventos climáticos extremos. Durante los últimos años, se ha evidenciado un incremento de cerca de 1 °C en la temperatura del aire cerca de la superficie terrestre. La principal causa de este

incremento se relaciona con la emisión excesiva de GEI a la atmósfera, los cuales son producidos principalmente por el uso de combustibles.

De igual manera, estos autores plantean que la eliminación de árboles por medio de la tala contribuye al aumento en la intensidad del fenómeno del calentamiento global. Así pues, aunque los términos cambio climático y calentamiento global puedan parecer sinónimos, lo cierto es que se refieren a dos cosas distintas. El calentamiento global se considera la causa subyacente, mientras que el cambio climático es la consecuencia o efecto observable de este fenómeno.

5.3. Potencial de calentamiento global (PCG)

Sethi, (2027) expresa que para evaluar cómo los diversos gases de efecto invernadero influyen en el clima, se suele medir su cantidad en CO_{2e}, o sea, su equivalencia en dióxido de carbono.

Por tanto, el CO₂ se considera como la unidad de medida para comparar los demás GEI, y se le atribuye un PCG de 1. En ese sentido, podemos definir al Potencial de Calentamiento Global como un indicador que sirve para determinar la contribución de un gas específico al calentamiento global en comparación con el CO₂, considerando la misma cantidad de masa presente para ambos gases.

Para ejemplificar lo anterior, se tiene que una tonelada de N₂O, mismo que se puede convertir en CO_{2e} al multiplicarlo por 310. Por tanto, se puede interpretar que el N₂O tiene una capacidad 310 veces mayor que el CO₂ para contribuir al fenómeno del calentamiento global.

Tabla 1.*Potencial de calentamiento global 100 años de los principales GEI*

Gas de efecto invernadero	Formula Química	GWP a 100 años
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	310
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	23900
Hidrofluorocarbonos	HFC-23	11700
	HFC-125	2800
	HFC-134a	1300
	HFC-143a	3800
	HFC-152a	140
	HFC-227ea	2900
	HFC-236fa	6300
Perfluorocarbonos	HFC-4310mee	1300
	CF ₄	6500
	C ₂ F ₆	9200
	C ₄ F ₁₀	7000
	C ₆ F ₁₄	7400

Nota. La tabla incluye la fórmula química de los gases responsables del efecto invernadero junto con su PCG a lo largo de 100 años. Obtenido de Power Porto, (2009) *El calentamiento global y las emisiones de carbono*. (<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493007.pdf>), consultado el 18 de agosto del 2023. De dominio público.

5.4. Factor de emisión (FE)

El factor de emisión es un número que representa la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera en relación con la actividad que lo emite. Por lo general, se calcula dividiendo el peso del contaminante por el peso de la

unidad, el volumen, la distancia o incluso la duración de la actividad que lo emite. Estos factores son útiles para estimar las emisiones de contaminantes de diversas fuentes de contaminación (Meneses-Ruiz, Roig-Rassi, Paz, Alonso, & Alvarado, (2018).

Tabla 2.

Factores de emisión

Fuente de emisión	Factor de emisión	Unidad de medida
Papel	1.135	kg CO ₂ /kg
Energía eléctrica	286.00	g CO ₂ /kWh
Residuos sólidos	902.47	kg CO ₂ /ton
Diésel	10.21	kg CO ₂ /gal
Gasolina	8.78	kg CO ₂ /gal

Nota. La tabla muestra los factores de emisión para estimar la huella de carbono. Obtenido de Martínez, (2016) *Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades que realiza el ministerio de ambiente y recursos naturales, sede central a través del cálculo de su huella de carbono.* (http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3403_IN.pdf), consultado el 23 de septiembre de 2023. De dominio público.

5.5. Efecto invernadero

Este efecto se llama así porque se asemeja a un invernadero en el que crecen las plantas, y es la acumulación de energía radiante del sol en un espacio cerrado, el cual permite la entrada de la radiación solar, y permite muy pocas pérdidas de esta al exterior. Por consiguiente, la temperatura en el invernadero sube, y las plantas que se están cultivando crecen en mejores condiciones a que si estuvieran fuera de un invernadero (Power, 2009).

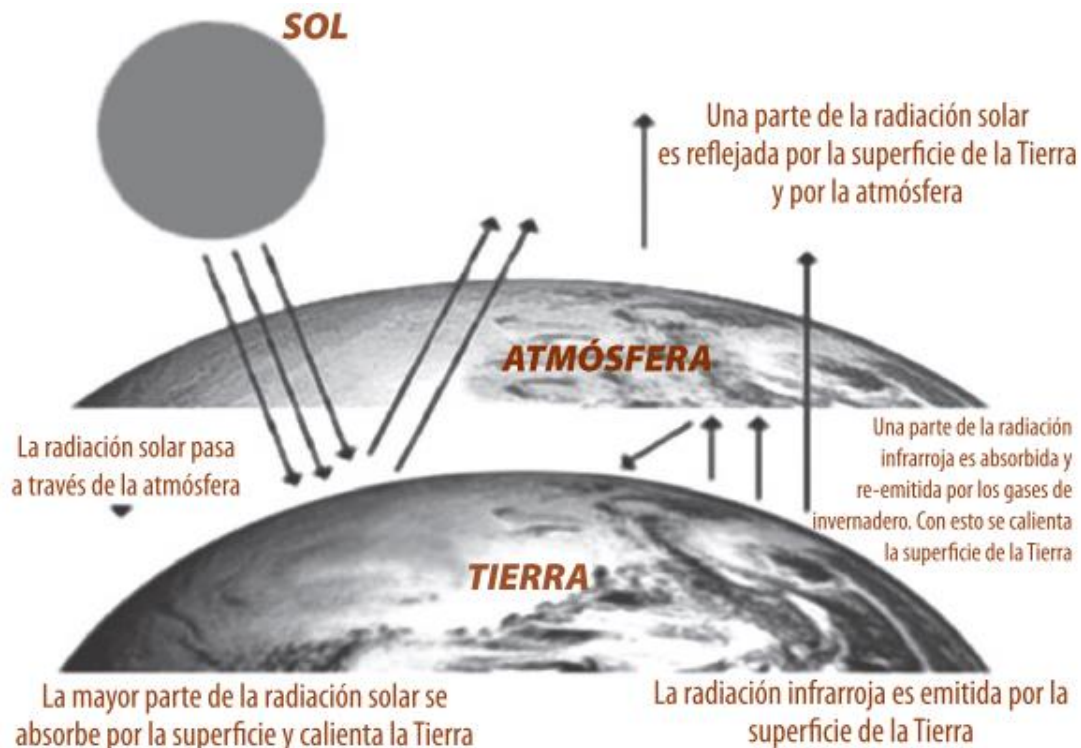
El efecto invernadero se produce debido a que la energía radiante del sol se compone de ondas de alta frecuencia que pueden penetrar fácilmente en la

atmósfera. Por otro lado, la energía que es emitida desde la Tierra hacia el espacio se compone de ondas de baja frecuencia que son absorbidas por los gases de la atmósfera, lo que genera el efecto invernadero. Esta retención o acumulación de energía, tiene como resultado el aumento de la temperatura del planeta. En otras palabras, el efecto invernadero ocurre cuando la energía proveniente del sol es absorbida más rápido de lo que es emitida, lo que provoca una retención de la energía en la superficie terrestre y, como resultado, un aumento en la temperatura (Espíndola & Valderrama, 2012).

Aunque comúnmente el llamado efecto invernadero es asociado con impactos adversos, en realidad es un proceso esencial para que exista vida en la Tierra. Si no existiera este fenómeno, la temperatura global sería considerablemente menor (Power Porto, 2009).

La ausencia del efecto invernadero supondría una temperatura media en la Tierra cercana a los -18°C (Becerra & Mance, 2009).

Figura 1.
Efecto invernadero



Nota. En la imagen se muestra el proceso del efecto invernadero. Obtenido de por Becerra, Mance, Barrera y García (2009) *Cambio climático: lo que está en juego*. (<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/12047.pdf>), consultado el 14 de agosto de 2023. De dominio público.

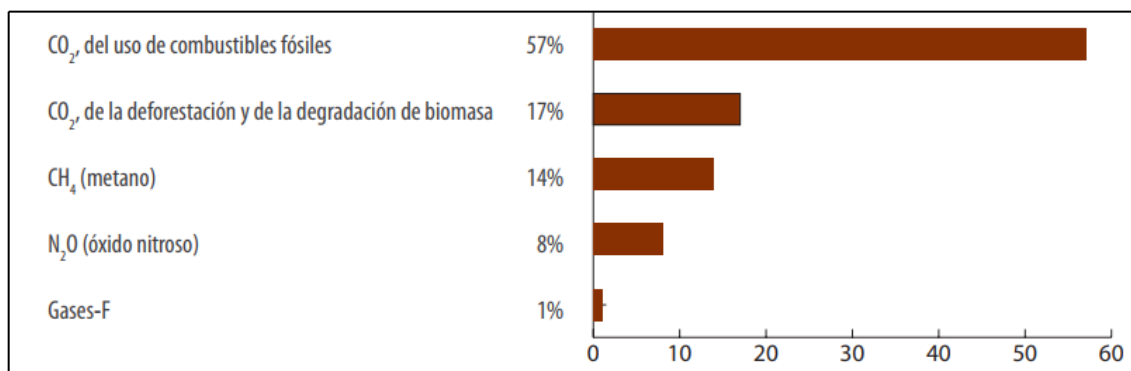
5.6. Gases que aportan significativamente al efecto invernadero

Como se mencionó previamente, el efecto invernadero es causado por los gases que atrapan el calor, que son conocidos como GEI. Tanto los gases naturales como los de origen antropogénico están presentes en la atmósfera terrestre, y su objetivo principal es capturar y liberar la radiación solar en longitudes de onda específicas que se encuentran dentro del espectro de radiación terrestre, el cual es emitido por la superficie, las nubes y la atmósfera; los gases más importantes dentro del efecto invernadero son el CO₂, el CH₄, el N₂O y el vapor de agua. Asimismo, la composición de la atmósfera incluye

halocarbonos, (SF₆), (HFC) y (PFC), los cuales son producidos exclusivamente por actividades antropogénicas (Planton et al., 2013).

Figura 2.

Parte proporcional que representan varios GEI de origen antropogénicos



Nota. Gases responsables del efecto invernadero y su cuota proporcional en el efecto invernadero. Obtenido de Becerra & Mance, (2009), *Cambio climático: lo que está en juego*. Barrera y García (2009) *Cambio climático: lo que está en juego*. (<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/12047.pdf>), consultado el 14 de agosto de 2023. De dominio público.

5.6.1. Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂, es el principal GEI producido por el ser humano y es el responsable de desequilibrar la radiación de la Tierra. El CO₂, es utilizado como estándar para comparar otros gases de efecto invernadero, asignándole un PCG de 1. La quema de la biomasa, el gas, el carbón, el petróleo, y demás combustibles fósiles, son los procesos que generan el CO₂ (Planton et al., 2013).

5.6.2. Metano (CH₄)

La liberación de CH₄ a la atmósfera es causada principalmente por la quema de combustibles fósiles, una actividad antropogénica importante. El CH₄ es el componente principal del gas natural y se escapa a la atmósfera durante la

extracción y combustión de energéticos de origen fósil. Además, el CH₄ se produce de forma natural a través de la digestión anaerobia de bacterias especializadas que se encuentran en pantanos, cultivos inundados y acumulaciones de materia orgánica, como basureros y estiércol (Aguilera et al., 2020).

5.6.3. Óxido nitroso (N₂O)

La actividad agrícola, en particular el uso de fertilizantes es la principal causa de la emisión de este gas (Sethi, 2017).

El óxido nitroso también se produce por otras actividades diferentes de las agrícolas, algunos ejemplos son las centrales térmicas, los tubos de escape de los autos, la quema de la biomasa como la leña, y la fabricación de nailon (Aguilera et al., 2020).

5.6.4. Ozono (O₃)

El ozono actúa como un agente de efecto invernadero que surge de la combinación de 3 átomos de oxígeno. El ozono se produce tanto de forma natural como a través de actividades y acciones antropogénicas y se encuentra en su concentración más alta en la capa de ozono (Planton et al., 2013).

5.6.5. Halocarbonos

El término utilizado para describir una serie de compuestos orgánicos parcialmente halogenados es halocarbonos, que incluye varias categorías de gases como los (HFC), los (HCFC), los halones, el cloruro de metilo y el bromuro de metilo. Estos, especialmente los halocarbonos que contienen una cantidad

elevada de cloro y bromo, contribuyen en el debilitamiento de la capa de ozono (Planton *et al.*, 2013).

5.6.6. Gases fluorados

Estos gases son producto de los procesos industriales, la refrigeración y del uso de varios productos de consumo. El grupo en cuestión está conformado por hidrofluorocarbono (HFC), perfluorocarbono (PFC), y también el hexafluoruro de azufre (SF₆), (Sethi, 2017).

Según Millán & Holguí, (2015) los (HFC), son utilizados en forma de disolvente para aerosoles, como refrigerantes y también como dispersores de espuma tanto de uso industrial como doméstico.

También expresan que, tanto la producción de aluminio por medio de la electrólisis, como la producción de magnesio, son las principales causas de la aparición de los (PFC), y del (SF₆) respectivamente.

5.7. Sumidero de GEI

Se utiliza la palabra sumidero para describir toda acción, proceso, o incluso procedimiento que busque reducir, mitigar, o eliminar la cantidad de GEI o aerosoles presentes en la atmósfera del planeta en un período de tiempo definido. Dicha reducción puede lograrse a través de diversas prácticas y técnicas (Planton *et al.*, 2013).

Algunos ejemplos de sumideros son las plantas, bosques, el suelo, y los océanos, ya que estos tienen la capacidad de capturar el CO₂, uno de los principales responsables del efecto invernadero (Becerra & Mance, 2009).

5.8. Fuentes de GEI

Cuando se habla de fuentes de gases que provocan el efecto invernadero, se hace referencia a cualquier actividad que se haga, proceso que se lleva a cabo, o mecanismo que libera a la atmósfera tanto GEI como aerosoles (Planton *et al.*, 2013).

5.9. Huella de carbono

La HC es un proceso que consiste en evaluar la cantidad de GEI que se emiten y que se derivan de las acciones antropogénicas (Millán & Holguín, 2015).

Siguiendo el mismo orden de ideas, también podemos entender a la HC como un indicador que muestra la cantidad de emisiones que son liberadas y capturadas durante la producción o manufacturación de un producto o servicio específico. La HC se mide en términos de CO_{2e} (Aguilera *et al.*, 2020).

La HC también puede llegar a ser calculada incluso hasta el consumidor final de los productos y servicios, y puede ser medida de forma directa o indirecta (Lubo Cetina *et al.*, 2019).

La HC poder ser estimada de varias formas, considerando tanto las emisiones directas de CO₂, hasta todas las emisiones de GEI, incluyendo los procesos desde la adquisición de materias primas hasta la destrucción de desechos y envases. Aunque no hay consenso sobre qué emisiones deben considerarse, la mayoría de literatura se enfoca en el CO₂ como la variable principal de estudio, (Montes de Oca & Arce, 2011).

En el proceso que se lleva a cabo para calcular la HC, se clasifican las emisiones en 3 campos, siendo el primero de ellos las emisiones directas generadas por fuentes de emisión que pertenecen a la empresa. El segundo campo de cobertura son las emisiones indirectas, que son las emisiones que están relacionadas de manera indirecta a la empresa, en este apartado podemos mencionar como ejemplo la energía eléctrica que es consumida por la empresa. Por último, se tienen las emisiones indirectas, y tienen una estrecha relación con los insumos que se utilizan en la empresa durante sus actividades, y con la finalidad que se les dan a sus productos una vez que son puestos en el mercado, (Lubo, *et al.*, 2019).

5.10. Las fuentes de emisiones

Es esencial distinguir entre las emisiones directas e indirectas al evaluar la HC. La primera tarea es la de identificar las fuentes de emisión que se abordarán en el análisis (Frohmann & Olmos, 2013).

Es posible dejar de incluir algunas fuentes de emisión durante el proceso de evaluación de la HC de la empresa por distintas razones. Estas exclusiones se deben a que se desea evitar cuantificaciones dobles, o, por otro lado, tiene que ver con que la emisión excluida no es significativa en términos de emisiones, y algunas otras ocasiones lo que sucede es que la información que se requiere sobre las emisiones a cuantificar, o no está disponible, o es muy difícil de obtener (Frohmann & Olmos, 2013).

5.10.1. Emisiones directas

Se consideran emisiones directas a aquellas producidas por fuentes de emisión que están en posesión o bajo el control de la compañía, como la

combustión de combustibles derivados de los hidrocarburos y otras actividades similares (Frohmann & Olmos, 2013).

5.10.2. Emisiones indirectas

Aquellas emisiones que se generan en fuentes que no pertenecen a la empresa, ni son controladas por ella, pero que surgen de sus actividades, se conocen como emisiones indirectas. Ejemplos de estas emisiones pueden ser las relacionadas con el transporte de productos, bienes y servicios, y la eliminación de productos por parte del consumidor (Frohmann & Olmos, 2013).

5.11. Neutralidad de carbono

Montes de Oca & Arce (2011) expresan que la neutralidad de carbono se refiere a todas las medidas y acciones tomadas para equilibrar las emisiones de CO₂, ya sea a nivel institucional o a nivel nacional. Al buscar la neutralidad de carbono, no se debe limitar la evaluación solamente a las emisiones directas de CO₂, sino también a las emisiones de otros GEI, que incluyen CH₄, N₂O, HFC, entre otros. Se emplea una escala de conversión que permite equiparar las emisiones de diversos gases con su equivalente en CO₂ para lograr una medición exacta.

Por otra parte, estos autores plantean que la meta fundamental de la neutralidad de carbono es alcanzar un equilibrio entre las emisiones de GEI y las iniciativas para reducir, atenuar o contrarrestar dichas emisiones, en aras de fomentar la sostenibilidad.

5.12. Dióxido de carbono equivalente (CO_{2e})

Es una unidad de medida estandarizada, y se utiliza comúnmente para cuantificar el impacto ambiental que tienen los GEI como el CO₂, CH₄, N₂O, entre otros (Aguilera *et al.*, 2020).

5.13. Técnicas para medir la huella de carbono

Se ha notado un aumento en el interés de los países en todo el mundo en la aplicación de medidas que aborden la HC en sus respectivas sociedades. Como resultado, numerosas empresas llevan a cabo evaluaciones de sus emisiones de GEI y utilizan etiquetas ecológicas en sus productos para demostrar su compromiso en la reducción de dichas emisiones (Jiménez, Leiva & de la Peña, 2010).

Hay varias maneras de medir la HC a nivel global y local, algunos son regulados por autoridades de diferentes países para establecer normas y regulaciones de emisiones de GEI, mientras que otros son empleados por empresas para reducir sus emisiones de GEI en sus procesos de manufacturación y de producción (Millán & Holguín, 2015).

En el año 2010, la Comisión Europea llevó a cabo una serie de investigaciones para analizar distintas medidas e iniciativas, con el propósito de evaluar la factibilidad de armonizar las metodologías utilizadas para calcular la HC. Como resultado de dicha investigación, se descubrió que existían 140 metodologías diferentes, de las cuales 80 se enfocaban en las organizaciones, y las otras 60 en el producto (Jiménez, *et al.*, 2010).

En resumen, se puede afirmar que existen tres enfoques metodológicos para estimar la HC, que varían en función del alcance u objeto de interés: huella de carbono enfocada a empresas y organizaciones, huella de carbono enfocada al ciclo de vida de productos, y huella de carbono mixta (Alcaraz, 2014).

5.13.1. Huella de carbono enfocada a empresas

Como se mencionó anteriormente, hay tres enfoques metodológicos para medir la HC, pero se prestará especial atención a la metodología aplicada a las empresas.

Para realizar la evaluación de las emisiones de GEI de una empresa, se utiliza un método que consiste en recopilar información sobre su consumo y luego convertirla en emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), lo que da lugar a un registro de emisiones. La elección de la técnica de conversión dependerá de los recursos y el tiempo que se dispongan (Jiménez *et al.*, 2010).

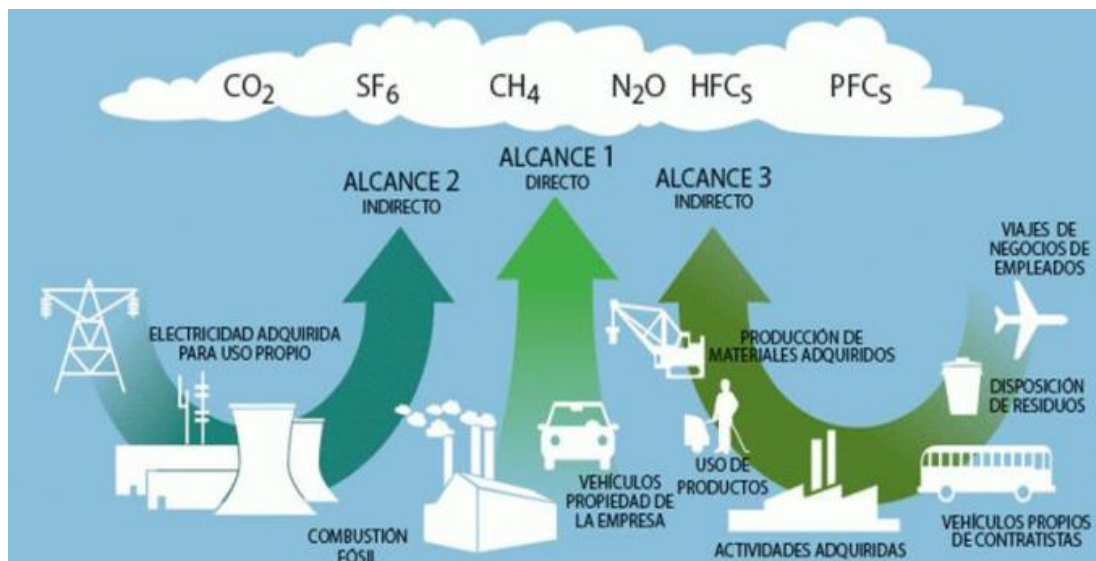
Si se desea medir la HC en empresas, se deben contemplar, tanto las emisiones directas, como indirectas de GEI, por lo que se fijan tres niveles o alcances para abarcar todos los aspectos que contribuyen a dichas emisiones (Jiménez *et al.*, 2010).

- Alcance 1: este alcance se refiere a las emisiones que se desencadenan de manera directa, y que provienen de las fuentes de propiedad o control de la compañía. Estas emisiones pueden provenir de la combustión de fuentes fijas, procesos químicos, procesos físicos, combustión de fuentes móviles y liberaciones fugitivas de gases refrigerantes utilizados en sistemas de enfriamiento y aire acondicionado (del Valle, 2021).

- Alcance 2: este alcance hace alusión a las emisiones indirectas de GEI que son desencadenadas por fuentes que la empresa adquiere externamente y no tiene control directo sobre ellas. Estas emisiones incluyen aquellas producidas por la generación de electricidad, calor o vapor utilizados por la empresa en sus operaciones (del Valle, 2021).
- Alcance 3: estas son las llamadas otras emisiones indirectas y son las que incluyen recursos como los materiales consumibles, viajes realizados por el personal de la empresa, estancia en hoteles, consumo de materiales orgánicos, recursos forestales y el consumo de agua (Jiménez, *et al.*, 2010).

Figura 3.

Clasificación de las emisiones de GEI de acuerdo con sus alcances



Nota. En el gráfico se ilustran los 3 alcances y sus correspondientes contribuciones de GEI a la Huella de Carbono. Obtenido de Rodríguez, (2001) *Metodología y cálculo de la huella de carbono para productos agroalimentarios*. (https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/29232/RomanRodriguez_Mario_TFM_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y), consultado el 12 de mayo de 2023. De dominio público.

Tal como se ha mencionado previamente, hay múltiples metodologías que tienen como objetivo evaluar la huella de carbono en empresas, pero existen dos técnicas predominantes para evaluar y presentar informes sobre las emisiones de GEI. Y estos son la norma ISO 14064-1: Gases de Efecto Invernadero Parte 1 y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (Jiménez *et al.*, 2010).

5.13.1.1. Técnica del protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol)

WRI/WBCSD sugiere utilizar esta metodología en el ámbito empresarial para valorar las emisiones de GEI, la cual requiere que las empresas se comprometan a disminuir sus emisiones (Bravo, 2015).

Aunque puede parecer una metodología compleja y minuciosa, esta herramienta ofrece hojas de cálculo y guías que son valiosas para aquellos interesados en valorar las emisiones de GEI, y también requiere que las empresas se comprometan a reducir estas emisiones (Alcaraz, 2014).

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) se ha establecido como la herramienta internacional líder para la evaluación y el informe de emisiones de GEI, tanto directas, como indirectas, debido a su probada eficacia y amplia popularidad (del Valle, 2021).

5.13.1.2. Técnica basada en la norma ISO 14064-1

Esta norma, implementada en 2006, tiene como propósito la medición y atenuación de las emisiones de GEI producidas por empresas y gobiernos. Aunque consta de tres partes, las secciones más relevantes para medir la HC son la primera y la tercera (del Valle, 2021).

La norma establece en su primer apartado las directrices y condiciones que las empresas deben seguir para llevar a cabo el desarrollo, diseño, gestión y comunicación de las emisiones de GEI. De igual manera, en este apartado se definen los requisitos esenciales para establecer los límites y alcances, y se ofrecen indicaciones sobre la medición de las emisiones y absorciones de GEI, al tiempo que se determinan las medidas que las empresas deben tomar para una gestión más efectiva de sus emisiones. Esta sección también incluye la realización de informes y auditorías internas de la empresa (Alcaraz, 2014).

Por otro lado, en la parte 3 de la norma, se indican los pasos por seguir para los que quieran realizar la verificación y validación de la información de GEI, (Alcaraz, 2014).

Según Alcaraz, 2014 la norma ISO 14064 se rige por cinco principios, a continuación, se listan:

- **Pertinencia:** este principio indica que toda la información debe de ser de interés y relevante para el público objetivo, por lo tanto, se incluyen tanto a los usuarios internos como externos. Además, este principio está estrechamente vinculado a la definición del alcance, el cual debe reflejar tanto la forma de operación de la organización, como la realidad económica de la misma, y no debe reflejar únicamente su forma legal.
- **Cobertura total:** es necesario tener una contabilidad e informe minuciosos que incluyan todas las fuentes de emisiones de GEI y actividades dentro de los límites del inventario a realizar, y que cualquier exclusión que se desee hacer, esté debidamente justificada para cumplir con este principio.

- **Coherencia:** es principio indica que los resultados que se obtengan del inventario realizado puedan ser comparables a lo largo del tiempo entre ellos, y el año base seleccionado. Por lo tanto, es necesario documentar cualquier cambio realizado en los datos, la metodología aplicada para el cálculo, el alcance, o cualquier otro factor que sea significativo en la línea temporal.
- **Exactitud:** la finalidad del principio de exactitud es asegurar que la información sea de alta calidad y tenga una precisión suficiente para que se puedan tomar decisiones seguras y confiables. Para alcanzar esto, es necesario evaluar la incertidumbre y tener en cuenta la precisión de los datos.
- **Transparencia:** este principio está vinculado con la transmisión de la información. Acorde a este principio, se debe conseguir que la información sea precisa, clara, neutral y entendible, debe de estar fundamentada en documentación y datos sólidos y auditables. Por lo tanto, en cada caso se citarán referencias explícitas, metodologías y fuentes utilizadas.

5.14. Estrategias para reducir la huella de carbono

El fin primordial de contar con la HC es conseguir disminuir las emisiones de GEI que son liberadas a la atmósfera, y, en consecuencia, disminuir el gasto energético. Para lograr este objetivo, se pueden establecer y ejecutar ciertas acciones que abarquen las áreas de iluminación, climatización, refrigeración y transporte, que no representen gasto a la empresa, o que tienen un costo muy bajo, pero que en general implican una reducción significativa de los gastos totales.

Tal y como se ha expresado, la HC se encarga de reunir todas las emisiones durante el proceso de producción y distribución de bienes y servicios. Por ende, existen varias posibilidades de acciones a tomar para llevar a cabo la reducción de la HC (Jiménez, *et al.*, 2010).

5.14.1. Estrategias para reducir la huella de carbono asociada con las emisiones de los alcances 1 y 2

La reducción del consumo de energía es la principal manera de lograr una disminución de las emisiones de GEI y, en consecuencia, disminuir la HC. Para reducir las emisiones, es fundamental evitar el consumo o gasto innecesario y reemplazar los equipos y máquinas que utilizan combustibles no renovables, y electricidad, por modelos más modernos y eficientes (Jiménez, *et al.*, 2010).

5.14.1.1. Adquisición de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables

La HC relacionada con el gasto de energía eléctrica puede cambiar según sea el origen de generación utilizado por las empresas proveedoras de electricidad. Si se utiliza combustibles fósiles para generar electricidad, la HC será mayor a que si se utilizan fuentes renovables. En consecuencia, se puede considerar este factor para decidir qué compañía proveedor de energía elegir (Jiménez, *et al.*, 2010).

5.14.1.2. Evitar los consumos innecesarios de energía eléctrica

De acuerdo con Jiménez, *et al.*, (2010) en muchas ocasiones sucede, que tanto las empresas, como personas individuales no le presten la atención

adecuada a ciertas prácticas que repercuten en la HC. Resulta beneficioso llevar a cabo ciertas prácticas con el propósito de disminuir la HC.

- Iluminación: emplear la luz natural del sol siempre que sea posible es una de las prácticas más eficientes. Se debe utilizar la luz eléctrica únicamente en los casos en los que sea de absoluta necesidad. El consumo de energía eléctrica, producto de mantener la iluminación en lugares desocupados durante grandes intervalos de tiempo, aporta una buena parte a la HC. Siguiendo en la misma línea de ideas es recomendable programar planes de mantenimiento de las instalaciones eléctricas, sustituir lámparas obsoletas, o que han superado el número de horas de uso que indica el fabricante.
- Climatización: se pueden implementar medidas eficaces para reducir el gasto de energía eléctrica en las empresas, como desconectar los equipos de aire acondicionado cuando no se utilizan, y evitar la entrada de aire caliente en el recinto que se desea climatizar. Para ello, acciones como cerrar ventanas y persianas se consideran efectivas y recomendables.

5.14.1.3. Utilizar equipos que tengan una menor demanda energética

Una alternativa rentable es reemplazar de manera gradual las bombillas convencionales por aquellas de bajo consumo para la iluminación eléctrica. Los dispositivos de bajo consumo energético no solo disminuyen el consumo de energía eléctrica, sino que también tienen una vida útil más larga, (*Jiménez, et al.*, 2010).

5.14.1.4. Diminución de emisiones generadas por la quema de hidrocarburos

Para Jiménez, et al., (2010) se pueden aplicar las mismas estrategias para reducir el gasto de electricidad y disminuir la HC generada por el uso de combustibles no renovables, como los hidrocarburos. Se consideran viables todas las medidas que eviten la pérdida de calor y aseguren una buena refrigeración de las instalaciones de la empresa, siempre y cuando la energía utilizada sea de origen fósil.

También expresan que la optimización de los sistemas de calefacción que emplean las empresas es una práctica favorable para disminuir la HC. También cabe mencionar que las calderas de condensación tienen una mejor eficiencia energética que las calderas convencionales de gas, por lo cual se consiguen ahorros energéticos que pueden llegar a superar el 30 %. Al continuar con la misma idea, es importante considerar la posibilidad de cambiar los sistemas de calefacción que utilicen combustibles fósiles por otros que utilicen fuentes de energía renovable.

Como ejemplo de lo anterior, tenemos a la energía solar térmica, misma que es de suma utilidad para proveer de calefacción a las instalaciones de la empresa, o para uso de carácter industrial.

También se debe considerar la renovación de los vehículos de la empresa, y se debe tener en cuenta cuando se realice una compra de los mismos, las emisiones generadas por los vehículos que se deseen adquirir. La migración a nuevos combustibles que producen menores emisiones, y las buenas prácticas de conducción ecológica, son el complemento a esta clase de iniciativas.

Al optar por biocombustibles como el bioetanol o biodiésel en lugar de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel, es posible disminuir la HC. Los biocombustibles se producen a partir de recursos naturales y la recuperación de residuos grasos provenientes de animales o vegetales.

5.14.2. Estrategias para reducir la huella de carbono asociada con las emisiones del alcance 3

Según Jiménez, et al., (2010¹) la compra de cualquier producto o servicio implica la responsabilidad de asumir el impacto ambiental generado en todas las etapas de su fabricación. Por lo tanto, la empresa adquiriente del producto se hace responsable de manera indirecta de dicho impacto ambiental.

Indican que es recomendable comprobar si los productos que se compran tienen etiquetas ambientales que muestren información sobre la huella de carbono generada durante su proceso de fabricación. Si no se encuentran etiquetas que brinden información sobre la huella de carbono, se aconseja buscar proveedores que tengan certificaciones de gestión ambiental o que apliquen prácticas sostenibles, como el uso de energías renovables, así como planes de reciclaje y manejo de residuos.

Plantean que siempre que una empresa hace uso del agua, indiferentemente del uso que le dé a este recurso, hace que se produzca un consumo de energía, misma que es necesaria para que se puede consumir en distintos lugares (bombeo, captación y saneamiento), esto da como resultado emisiones que son incluidas en la huella de carbono. Por lo tanto, las acciones que tienen como finalidad la disminución del consumo de agua, también afectan de manera positiva a la huella de carbono.

6. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3. JUSTIFICACIÓN

4. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMAS DE SOLUCIÓN

5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1. Cambio Climático

5.2. Calentamiento Global

5.3. Potencial de Calentamiento Global (PCG)

5.4. Factor de Emisión (FE)

5.5. Efecto Invernadero

5.6. Gases que aportan significativamente al efecto invernadero

5.6.1. Dióxido de Carbono (CO₂)

5.6.2. Metano (CH₄)

5.6.3. Óxido Nitros (N₂O)

- 5.6.4. Ozono (O₃)
- 5.6.5. Halocarbonos
- 5.6.6. Gases fluorados
- 5.7. Sumidero de GEI
 - 5.7.1. Fuentes de GEI
- 5.8. Huella de carbono
- 5.9. Las fuentes de emisiones
 - 5.9.1. Emisiones directas
 - 5.9.2. Emisiones indirectas
- 5.10. Neutralidad de Carbono
- 5.11. Dióxido de Carbono equivalente (CO_{2e})
- 5.12. Técnicas para medir la Huella de Carbono
 - 5.12.1. Técnica del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero
 - 5.12.2. Técnica basada en la Norma ISO 14064-1
- 5.13. Estrategias para reducir la Huella de Carbono
 - 5.13.1. Estrategias para reducir la Huella de Carbono asociada con las emisiones de los alcances 1 y 2
 - 5.13.1.1. Adquisición de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables
 - 5.13.1.2. Evitar los consumos innecesarios de energía eléctrica
 - 5.13.1.3. Utilizar equipos que tengan una menor demanda energética
 - 5.13.1.4. Disminución de emisiones generadas por la quema de hidrocarburos
 - 5.13.2. Estrategias para reducir la Huella de Carbono asociada con las emisiones del alcance 3

6. MARCO METODOLÓGICO

- 6.1. Tipo de estudio
 - 6.2. Diseño de Investigación
 - 6.3. Variables de estudio
 - 6.4. Fases metodológicas para la medición de la huella de carbono
 - 6.4.1. Fase 1. Definición de límites
 - 6.4.1.1. Definición de límites organizacionales
 - 6.4.1.2. Definición de límites operativos
 - 6.5. Fase 2. Selección del año base
 - 6.6. Fase 3. Identificación de las emisiones
 - 6.6.1. Identificación de emisiones directas de GEI
 - 6.6.2. Identificación de emisiones indirectas de GEI
 - 6.6.3. Identificación de otras emisiones indirectas de GEI
 - 6.7. Fase 4. Cuantificación de las emisiones
 - 6.7.1. Paso 1
 - 6.7.2. Paso 2
 - 6.7.3. Cálculo de la huella de carbono
 - 6.8. Fase 5. Informe de resultados
-
- 7. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN
 - 7.1. Herramientas de recolección de datos
 - 7.2. Herramientas estadísticas
-
- 8. CRONOGRAMA
-
- 9. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES
ANEXOS

7. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describirá la metodología que se empleará en la presente investigación, se detallará en la medida de lo posible, desde el diseño de estudio, las variables de interés, hasta la recolección y el análisis de los datos. Se explicará tanto las técnicas cuantitativas como cualitativas que se pretenden utilizar.

7.1. Tipo de estudio

El tipo de investigación por realizar será de carácter aplicado, ya que, con base en una norma de estandarización internacional, y por medio de la información recopilada, se calculará la huella de carbono de una empresa y a partir de esta, se emprenderán acciones en busca de neutralizarla.

7.2. Diseño de investigación

Se llevará a cabo un diseño de investigación del tipo experimental, ya que se buscará establecer las relaciones entre las emisiones de GEI y la huella de carbono de una empresa.

7.3. Variables de estudio

A continuación, se presentan las variables que se analizarán.

Tabla 3.*Variables por analizar*

Variable	Definición teórica	Definición Operacional
Emisiones de gases de efecto invernadero	Emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global, (CO ₂), (CH ₄) y (N ₂ O), entre otros (Pachauri et al., 2014).	Medición de las emisiones de GEI producidas por la empresa en toneladas de CO ₂ equivalente, utilizando los factores de emisión correspondientes según la norma ISO 14064-1
Consumo de energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica de la organización, incluyendo la electricidad consumida por equipos y maquinarias, iluminación, sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, entre otros. (ISO, 2018).	Medición del consumo de energía eléctrica de la empresa en kWh utilizando los datos de facturación.
Consumo de combustibles fósiles	Se refiere al consumo de combustibles fósiles por parte de la organización, incluyendo gasolina, diésel, gas natural, entre otros (ISO, 2018)	Medición del consumo de combustibles fósiles de la empresa en galones de diésel, o gasolina, utilizando los datos proporcionados por la empresa objeto del estudio.

Continuación de la tabla 3.

Variable	Definición teórica	Definición Operacional
Generación de residuos sólidos	Cantidad de residuos sólidos generados por la organización, incluyendo residuos de papel, plástico, vidrio, metal, entre otros (ISO2018).	Medición de la cantidad de residuos sólidos generados por la empresa en toneladas, utilizando datos proporcionados por la empresa.
Consumo de agua	Consumo de agua de la organización, incluyendo agua utilizada en procesos industriales, riego, servicios sanitarios, entre otros (ISO, 2018).	Medición del consumo de agua de la empresa en metros cúbicos (m ³), utilizando datos proporcionados por la empresa objeto del estudio.
Consumo de papel	Consumo de papel por parte de la organización, incluyendo papel utilizado en oficinas, embalajes, productos impresos, entre otros (Ellis et al., 2009).	Medición del consumo de papel en kg a través de facturas o registros internos.

Nota. La tabla presenta cada una de las variables que se analizarán. Elaboración propia, empleando Word.

7.4. Fases metodológicas para la medición de la huella de carbono

Para realizar el cálculo de la huella de carbono, se seguirán las directrices que indica la norma ISO 14064-1: *Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.*

Tabla 4.*Fases metodológicas para estimar la huella de carbono*

Pasos de la metodología ISO 14064-1	Descripción
Definición de los límites	Establecimiento de los límites del inventario de GEI, y determinación de las fuentes y categorías incluidas dentro de los límites definidos.
Selección del año base	Establecimiento del año base para el inventario de GEI, a partir de cual se podrán realizar comparaciones futuras.
Identificación de las emisiones	Identificación de las fuentes de emisiones de GEI, dentro de los límites definidos y determinación de los datos necesarios para cuantificar las emisiones.
Cuantificación de las emisiones	Cuantificación de las emisiones de GEI identificadas y recopilación de los datos en un inventario de emisiones de GEI.
Informe de emisiones	Preparación de un informe que incluya el inventario de emisiones de GEI, y también una descripción que detalle la metodología utilizada para su elaboración y las limitaciones del inventario.

Nota. Se presentan los pasos por seguir de acuerdo con la metodología. Elaboración propia, empleando Word.

7.4.1. Fase 1. Definición de límites

La metodología elegida indica que es necesario definir los límites de la organización. Por lo que se realizará la delimitación de los espacios físicos en los cuales se calculará la huella de carbono. En esta parte se definirán los límites

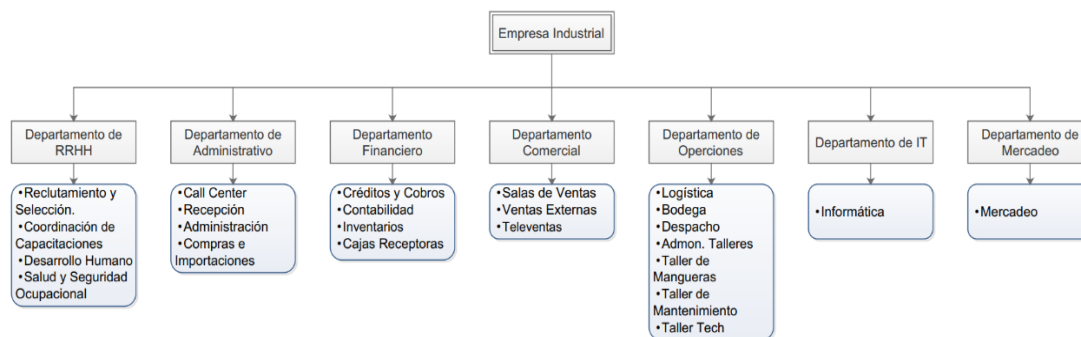
organizacionales, límites operativos, y las exclusiones de fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, siempre y cuando estas últimas sean justificadas.

7.4.1.1. Definición de límites organizacionales

Algunas organizaciones están compuestas por varias instalaciones, por lo cual en esta sección se definirán los límites organizacionales, con esto se hace referencia a que se elegirán las instalaciones físicas o unidades de negocios de la organización, en la cual se calculará la huella de carbono. Para este caso de estudio, la empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Guatemala. En la siguiente imagen se señalan las instalaciones que se desean tomar en cuenta para la realización de la presente investigación. Además, se tomará un enfoque de control operacional, ya que la organización objeto de estudio, posee un control total de las operaciones incluidos la fabricación del producto, y entrega de este.

Figura 4.

Diagrama organizacional de la empresa objeto de estudio



Nota. Diagrama organizacional de la empresa objeto de estudio. Elaboración propia, empleando Edraw Max.

7.4.1.2. Definición de límites operativos

Después de haber definido los límites organizacionales, se procederá a definir los límites operativos. Por lo tanto, se definirán las emisiones de GEI asociadas a las operaciones de la empresa, y que contribuyen a la huella de carbono. De igual manera se clasificarán las emisiones, ya sean emisiones directas o indirectas. En este apartado se considerarán los siguientes gases de efecto invernadero: CO₂, CH₄, SF₆, NO₂, HFC, y PFC.

De acuerdo con las directrices de la norma ISO 14064-1, se definen los límites operativos de la siguiente manera:

Tabla 5.

Definición de límites operativos

Área/Departamento	Alcance	Fuentes de emisiones
RRHH		
Administrativo		
Financiero		
Área/Departamento	Alcance	Fuentes de emisiones
Comercial		
Operaciones		
IT		
Mercadeo		

Nota. Se plantea la definición de los límites operativos. Elaboración propia, empleando Word.

7.5. Fase 2. Selección del año base

La aplicación de la norma ISO 14064-1 tiene como finalidad comparar en el tiempo las emisiones que se producen en la organización, por lo cual, para

futuras comparaciones o balances, se necesita seleccionar un año base, que será el año contra el cual se compararán el resto de los años.

Para el presente caso, se seleccionará el año 2022. Se realizará una recolección de documentación que abarque el período del 1 de enero del 2022 al 31 de diciembre de 2022.

7.6. Fase 3. Identificación de las emisiones

De acuerdo con las instrucciones de la norma ISO 14064-1, se procederá a identificar las fuentes de emisión de GEI. Se tomarán en cuenta los 3 alcances descritos anteriormente.

7.6.1. Identificación de emisiones directas de GEI

En este apartado, se tomarán en cuenta las emisiones directas que provienen de fuentes que controla o posee la organización.

Las emisiones directas por tomar en cuenta incluyen las emisiones producto de:

- La quema de combustibles fósiles
- La flota de transporte perteneciente a la organización
- Las emisiones producto de algún proceso
- Las emisiones fugitivas tales como, emisiones de gases fluorados de los equipos de refrigeración

Tabla 6.*Identificación de emisiones directas de GEI*

Tipo de emisión	Fuente de emisión	Dato de actividad	Variable	Área/Departamento
Combustión fija	Motores de combustión estáticos, calderas, entre otros.	Consumo de combustible	gal	
Continuación móvil	de la tabla 6. 10 de combustión de vehículos.	combustible o km recorridos	gal o km	
Emisiones fugitivas	Equipos de aire acondicionado	Recarga de fluido	kg	

Nota. Se presentan las emisiones directas del GEI, identificadas. Elaboración propia, empleando Word.

7.6.2. Identificación de emisiones indirectas de GEI

En esta parte se identificarán las emisiones indirectas de GEI, mismas que provienen del consumo eléctrico, consumo de calor y vapor, que se consumen dentro de los límites de la organización, pero que se adquieren de manera externa. Siguiendo en el mismo orden de ideas, es necesario identificar equipos que consuman lo siguiente:

- Energía eléctrica

Tabla 7.

Identificación de emisiones indirectas de GEI

Tipo de emisión	Fuente de emisión	Dato de actividad	Variable	Área/Departamento
Energía eléctrica	Energía eléctrica consumida de la red nacional de electrificación	Registro histórico de recibos de energía eléctrica consumida en las instalaciones de la organización.	kWh	

Nota. Se presenta la identificación de emisiones indirectas de GEI. Elaboración propia, empleando Word.

7.6.3. Identificación de otras emisiones indirectas de GEI

En esta sección se identificarán las emisiones indirectas de GEI que son producto de las actividades de la organización, pero que se originan en fuentes de GEI que están fuera de los límites de la organización. Por lo tanto, entre las otras emisiones indirectas, se tomarán en cuenta las siguientes:

- Consumo de papel
- Consumo de agua
- Transporte del personal

Tabla 8.*Identificación de otras emisiones indirectas de GEI*

Tipo de emisión	Fuente de emisión	Dato de actividad	Variable	Instalación
Consumo de Continúa- ción de la tabla 8.	Emisión por	Cantidad de papel consumido en la organización	kg	
Consumo de agua de la red pública	Emisión por proceso	Cantidad de agua potable consumida por la organización	m ³	
Transporte del personal	Motor de combustión de vehículos	Consumo de combustible o km recorridos por el personal	gal o km	

Nota. Se presentan otras emisiones indirectas de GEI que fueron identificadas. Elaboración propia, empleando Word.

7.7. Fase 4. Cuantificación de las emisiones

Para realizar el cálculo y cuantificación de las emisiones de GEI, la norma ISO 14064-1 indica dos pasos por seguir, con el objetivo de que las emisiones cuantificadas de GEI queden en función de un solo parámetro de conteo (CO_{2e}). A continuación, se explican ambos pasos por seguir:

7.7.1. Paso 1

En este paso se calcularán las emisiones de GEI en unidad de toneladas de GEI, para eso utilizaremos los “datos de actividad” que genera cada una de las emisiones.

A continuación, se presenta la ecuación por utilizar:

$$\text{Emisiones de GEI (tGEI)} = \text{Dato de actividad} * \text{Factor de emisión}$$

Donde:

Dato de actividad= Medida cuantitativa de la actividad que produce una o más emisiones de GEI. Usualmente tiene unidades diferentes de cuantificación que dependen de la actividad realizada.

Factor de emisión= Factor numérico que, al ser multiplicado por el dato de actividad, cuantifica la emisión propia del gas de efecto invernadero generado.

7.7.2. Paso 2

Este paso se aplica cuando las fuentes de GEI tengan su origen en una medida directa en masa o volumen de GEI. Dicho lo anterior, cuando sea el caso, se procederá a multiplicar el dato de emisión, por un factor de conversión denominado Potencia de Calentamiento Global, lo cual nos arrojará una masa de GEI en CO_{2e}. A continuación, se presenta la ecuación por utilizar:

$$\text{Emisiones (tCO}_{2e}\text{)} = \text{dato de emisión} * \text{Potencial de Calentamiento Global}$$

Donde:

Dato de emisión: unidad de medida de la emisión producida. Este dato se utiliza porque se conoce la masa de emisiones fugitivas, o porque se dispone de una medición, o porque el factor de emisión utilizado en el paso 1, está en unidades distintas a CO_{2e}.

Potencial de calentamiento global: factor de conversión que se utiliza para calcular los GEI en función de CO_{2e}. Existe un factor para cada uno de los GEI.

7.7.3. Cálculo de la huella de carbono

Para obtener la huella de carbono total de empresa, se sumarán los resultados obtenidos de los distintos alcances analizados.

Tabla 9.

Emissiones totales de GEI en CO_{2e} y su aporte a la huella de carbono

Alcances		Emisiones (ton CO _{2e})	Aporte a la Huella de Carbono de la Empresa (%)
Alcance 1:	Emisiones directas		
Alcance 2:	Emisiones		
Continuación de tabla 9.			
Alcance 3:	Otras emisiones indirectas		
Huella de Carbono (Total)			

Nota. Se presentan los resultados obtenidos. Elaboración propia, empleando Word.

7.8. Fase 5. Informe de resultados

En este apartado se presentará un informe de los resultados obtenidos, en los que se incluya, entre otros, las siguientes tablas:

Tabla 10.

Identificación de las fuentes que aportan GEI a la huella de carbono

Fuente de emisión	Emisiones (ton CO _{2e})	% del total
Combustibles fósiles		
Electricidad		
Transporte		
Residuos		
Consumo de agua		
Consumo de papel		
Total		

Nota. Informe de los resultados obtenidos. Elaboración propia, empleando Word.

Tabla 11.

Identificación de las áreas de la empresa que aportan GEI a la huella de carbono

Área/Departamento	Emisiones (ton CO _{2e})	% del total
RRHH		
Administrativo		
Continuación de tabla 11.		
Comercial		
Operaciones		
IT		
Mercadero		
Total		

Nota. Áreas de la empresa que aportan GEI. Elaboración propia, empleando Word.

Tabla 12.*Porcentaje de emisiones de GEI*

Tipo de gas	Emisiones (ton CO_{2e})	% del total
Dióxido de Carbono (CO ₂)		
Metano (CH ₄)		
Óxido Nitroso (N ₂ O)		
Otros gases de efecto invernadero		
Total		

Nota. Se presenta el porcentaje obtenido. Elaboración propia, empleando Word.

8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN

Para desarrollar y recopilar la información que permita cumplir con los objetivos que se han planteado, se utilizarán las siguientes herramientas de recolección de datos, para luego ser analizados.

8.1. Herramientas de recolección de datos

- Entrevistas con personal de la empresa que permita obtener información sobre los procesos y actividades que generan emisiones de gases de efecto invernadero.
- Análisis de documentos de la empresa, como registros de consumo de energía y combustibles, facturas de servicios públicos, para determinar el consumo de agua.
- Análisis de bases de datos externas, como registros de emisiones de la industria en la que opera la empresa, para comprar resultados de la medición de la huella de carbono de la empresa con otros actores del sector.
- Revisión de literatura y estudios previos sobre la medición de la huella de carbono en empresas similares para obtener información relevante y comparar los resultados de la investigación.

8.2. Herramientas estadísticas

Se realizará un análisis de regresión para identificar y cuantificar la relación entre las emisiones de GEI, y el consumo de energía eléctrica, consumo

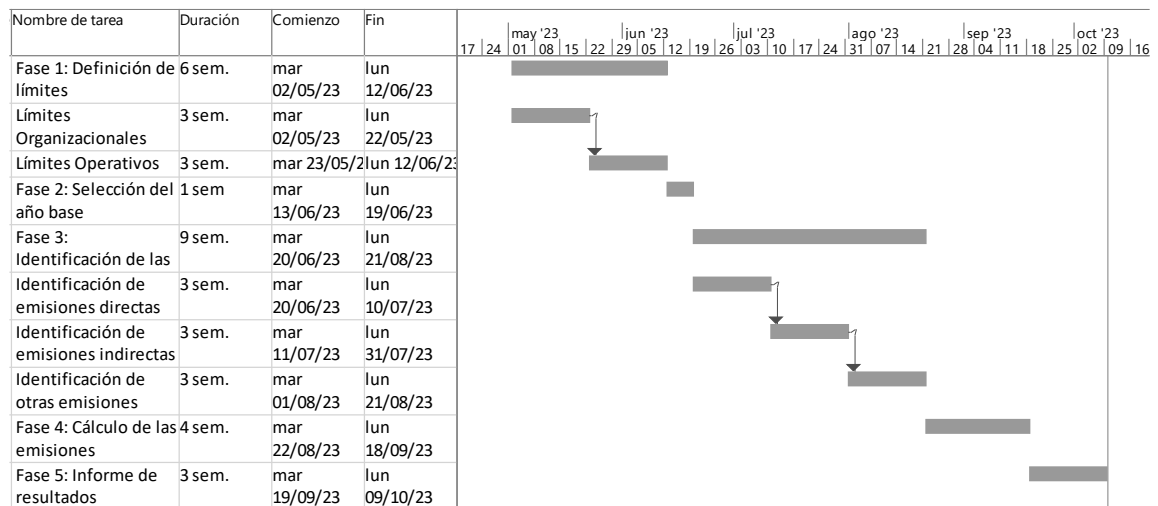
de combustibles fósiles, entre otros. Se utilizará el programa Microsoft Excel para realizar el análisis estadístico.

9. CRONOGRAMA

En este capítulo se presenta el cronograma de actividades planificadas para llevar a cabo el desarrollo de la investigación. El objetivo de este cronograma es establecer una guía estructura de las actividades que se llevarán a cabo durante el proyecto de investigación.

Tabla 13.

Cronograma de actividades para determinar la huella de carbono



Nota. Se presentan las actividades por realizarse. Elaboración propia, empleando Microsoft Project.

10. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente proyecto de investigación cuenta con la autorización de la empresa objeto del estudio, por tanto, se tiene acceso a las instalaciones de la empresa.

En cuanto al recurso humano, se contará con el apoyo y compromiso de los diferentes departamentos y áreas de la empresa. Entre el personal de la empresa que puede colaborar con la realización del proyecto se encuentran, por mencionar a algunos, los responsables de los departamentos de compras, logística, recursos humanos, y talleres. La colaboración y compromiso de todo el personal involucrado es fundamental para garantizar la precisión y calidad de los resultados obtenidos.

En relación con los recursos tecnológicos, se contará con el software de Microsoft Excel, para documentar y procesar los datos que se obtengan. Asimismo, se contará con equipo de cómputo e internet. Los recursos tecnológicos son importantes para garantizar la calidad y precisión de los datos que se obtengan.

Para garantizar el acceso a la información, se realizarán encuestas con los encargados de áreas y demás departamentos para obtener la documentación necesaria para llevar a cabo la investigación.

Los recursos económicos necesarios para financiar la presente investigación estarán a cargo del estudiante, y se consideran los siguientes gastos:

Tabla 14.

Recursos económicos necesarios para la ejecución de la investigación

Insumo	Costo
Acceso a internet	Q450.00
Papelería	Q400.00
Asesor	Q1500.00
Otros gastos	Q500.00
Energía eléctrica para equipo de computo	Q400.00
Total	Q3250.00

Nota. Se presentan los recursos económicos necesarios para la ejecución. Elaboración propia, empleando Word.

Con base en el análisis financiero realizado, se puede concluir que la investigación que se desea llevar a cabo es económicamente viable y factible, ya que se cuenta con los recursos suficientes para ejecutar el proyecto de investigación.

REFERENCIAS

- Aguilera, E., Piñero, P., Amate, J. I., González De Molina, M., Lassaletta, L., & Sanz Cobeña, A. (2020). *Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España*. Real Academia de Ingeniería. https://www.raing.es/pdf/publicaciones/libros/emisiones_de_gases_efecto_invernadero.pdf
- Alcaraz, A. H. (2014). *Huella de Carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena: En Busca de la Ecoeficiencia*. [Tesis de máster, Universidad Politécnica de Cartagena]. Archivo digital. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5043/tfm384.pdf?sequence=1>
- Becerra, M. R., & Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. Foro Nacional Ambiental. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/12047.pdf>
- Bravo Fernández, E. (2015). *Estudio de la huella de carbono de organización de una industria quesera y su proveedor lácteo mediante la norma ISO 14064-1 en el año 2015*. [Tesis de máster, Universidad de Valladolid]. Archivo digital. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/23009/TFM-L297.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Crispín, A. (2018). *Determinación de la huella de carbono de la empresa JRC ingeniería y construcción SAC en la unidad minera el brocal*. [Tesis de

maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Archivo digital. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6211/T01045727071_M%20-%20Abel%20Crispin%20Jurado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Del Valle, S. (2021). *Propuesta metodológica para la evaluación de la Huella de Carbono de una titulación universitaria*. [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. Archivo digital. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/354551/del%20Valle%20Martín%20S.%20TFM.Propuesta%20metodológica%20para%20la%20evaluación%20de%20la%20Huella%20Carbono%20de%20una%20titulación%20académica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163–176. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>

Ferrer, J., Vera, T., Blacio, S., Gadway, K., & Muñoz, G. (2021). Huella de carbono de la Universidad Técnica de Machala período 2018-2020. *Revista científica Dominio de las Ciencias*. 7 (5) 78-92. <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Dialnet-HuellaDeCarbonoDeLaUniversidadTecnicaDeMachalaPeri-8383871.pdf>

Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*. CEPAL y Cooperación Española. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5e0a7d7c-98bf-4678-8136-6c34bc9e2ebf/content>

- Garay, K. (2021). *Determinación de la huella de carbono en el cultivo y procesamiento del café y estrategias para su reducción*. [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK. Archivo digital. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4075>]
- Granda, C. (2020). *Inventario de gases de efecto invernadero en la sede central del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) y propuesta de un sistema de información para alcanzar la carbono neutralidad*. [Tesis de maestría, Universidad Estatal a Distancia]. Archivo digital. <https://investiga.uned.ac.cr/urbanecology/wp-content/uploads/sites/30/2020/07/TFG-de-Cinthia-Granda.pdf>
- Jiménez Herrero, L. M., Luis De La, J., Leiva, C., & Penela, A. C. (2010). *Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono*. OSE. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4870.1926>
- Lubo Cetina, C. M., Rodríguez Pérez, L. M., Jiménez Escobar, A. P., & López Astudillo, A. (2019). *Huella de carbono dinámica de sistemas calidad bitácoras de la maestría*. Editorial ICESI. <https://www.icesi.edu.co/editorial/bitacora-2/>
- Meneses-Ruiz, E., Roig-Rassi, A., Paz, E., Alonso, D., & Alvarado, J. (2018). Factores de emisión de CO, CO₂, NO_x y SO₂ para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. In *Revista Cubana de Meteorología*. 24 (1) 45-67
- Montes de Oca Vásquez, G., & Arce Ramírez, E. (2011). *La huella de carbono en la Municipalidad de San Carlos y logro de la carbono neutralidad*. [Tesis

- de maestría, Tecnológico de Costa Rica]. Archivo digital. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5806>
- Millán, A., & Holguín González, J. (2015). *Huella de Carbono*. Ministerio del Medio Ambiente. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- Planton, S., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (2013). *Glosario*. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- Power Porto, G. (2009). *El calentamiento global y las emisiones de carbono*. Ingeniería Industrial. <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493007.pdf>
- Sethi, M. (2017). *Climate Change and Urban Settlements*. Routledge. <https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=JDqIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Climate+Change+and+Urban+Settlements&ots=OW2meS-2ap&sig=Buw53uWJTqIWSaboH5rFEPEeeCU#v=onepage&q=Climate%20Change%20and%20Urban%20Settlements&f=false>
- Torres, D., Smith, F., & Altamar, A. (2021). *Formulación de Estrategias Ambientales a partir de La Huella Corporativa en la Empresa Sudelec S.A.* Editorial de la Universidad Libre de Bogotá.
- Venkataramanan, M., & Smitha. (2011). Causes and effects of global warming. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(3), 25–29. <http://www.indjst.org>

APÉNDICES

Apéndice 1.

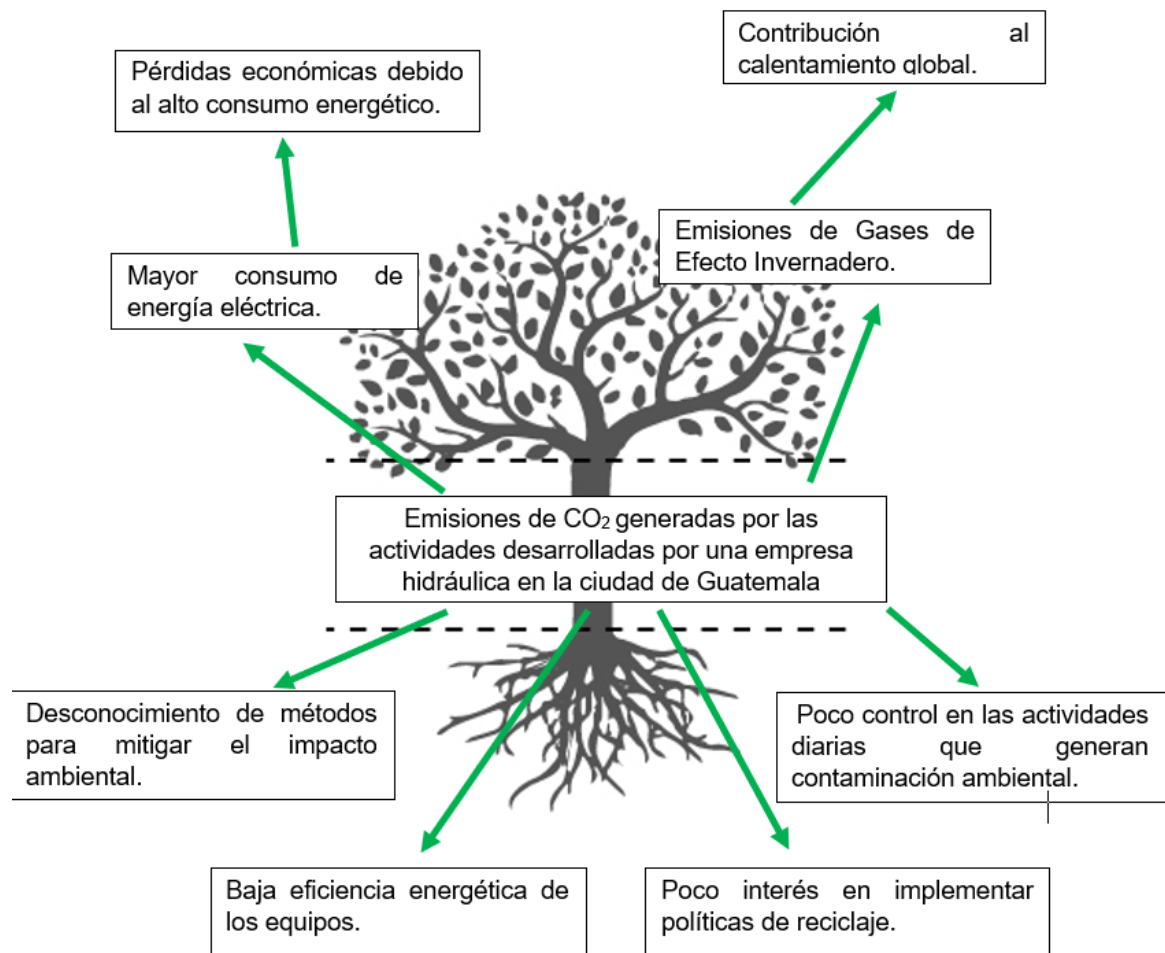
Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS
Pregunta General ¿Cómo reducir la huella de carbono y neutralizar la misma en una empresa hidráulica en la ciudad de Guatemala?	Objetivo General Elaborar una propuesta para la estimación de Carbono y la neutralidad de la misma en una empresa hidráulica de la ciudad de Guatemala	CO ₂ equivalente Huella de Carbono empresarial.	1. La investigación será de tipo exploratoria, ya que, por medio de recopilación de información a través de registros históricos de combustible, de recibos de energía eléctrica, y del volumen de desechos sólidos producidos se obtendrán datos de carácter cuantitativo.	1. Hojas de cálculo de Microsoft Excel para realizar la cuantificación de GEI. 2. Norma ISO 14064-1 como guía para realizar el inventario de GEI.
Preguntas Específicas 1. ¿Cuáles son las principales fuentes generadoras de CO ₂ equivalente de una empresa hidráulica en la ciudad de Guatemala? 2. ¿Cuánto CO ₂ equivalente generan las operaciones de una empresa en la ciudad de Guatemala? 3. ¿Qué medidas tomar para mitigar las emisiones de GEI de la empresa?	Objetivos Específicos 1. Realizar un inventario de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero derivados de las operaciones de la empresa. 2. Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero producto de las operaciones de la empresa. 3. Elaborar medidas para la mitigación de los gases de efecto invernadero de la empresa para alcanzar la neutralidad de carbono.	Subvariables 1. Emisiones directas de GEI por fuentes propiedad de la empresa: transporte, motores estacionarios, etc. 2. Emisiones indirectas de GEI asociadas al consumo eléctrico. 3. Otras emisiones de GEI	2. Promedio de la información recopilada, se establecerán los alcances para identificar los GEI de la empresa.	

Nota. Se presenta la matriz de coherencia. Elaboración propia, empleando Word.

Apéndice 2.

Árbol de problemas



Nota. Se presentan las causas, problema central y efectos. Elaboración propia, empleando Word.

ANEXO

Anexo 1.

Carta de aceptación del asesor

Guatemala, 10 de abril de 2023

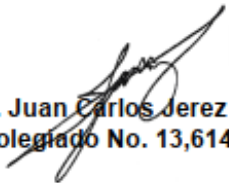
MSc. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director de la Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Maestro Álvarez:

Por medio de la presente, certifico mi disposición para ejercer como asesor del estudiante de la Maestría en Energía y Ambiente **Mario Geovani Quino Chicoj**, quien se identifica con el Documento Personal de Identificación (DPI) con Código Único de Identificación –CUI- números **2602 29482 0101**, en su trabajo de investigación, que a priori (de forma preliminar) se titula **«DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y PROPUESTA PARA SU NEUTRALIZACIÓN BAJO LA NORMA ISO 14064-1 EN UNA EMPRESA INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA»**.

Agradeciendo de antemano su atención,

Atentamente,


M.A. Ing. Juan Carlos Jeréz Juárez
Ingeniero Industrial
Col. 13,614
Colegiado No. 13,614

Nota. Se presenta la carta de aceptación del asesor. Elaboración propia, empleando Word.