



TERCER INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL CANTÓN DE HEREDIA 2021

Elaborado para la Municipalidad de Heredia



Proyecto:

Implementación de la Política de Cambio Climático de la Municipalidad del
Cantón de Heredia

Elaborado por:

El Laboratorio de Análisis Ambiental para la
Municipalidad de Heredia

Noviembre, 2023

Heredia, Costa Rica

MII. Angela Aguilar Vargas
Alcaldesa, Municipalidad de Heredia

M.Sc. José Felix Rojas Marin
Coordinador, LAA-UNA

Grupo técnico encargado del Informe

Lic. David Antonio Carvajal Arroyo
Investigador, LAA-UNA

Grupo colaborador de las instituciones participantes

Lic. Rogers Araya Guerrero
Encargado Gestión Ambiental
Municipalidad de Heredia

Índice General

Índice General	1
Índice de Figuras	4
Índice de Cuadros	6
Lista de acrónimos	9
Presentación	10
1. Introducción	12
2. Marco Teórico	15
2.1 Cambio Climático y Calentamiento Global	16
2.1.1 Efecto Invernadero	16
2.1.2 Gases de Efecto Invernadero (GEI)	17
2.1.3 Potencial de calentamiento Global	18
2.2 Características necesarias para el inventario de emisiones	18
2.2.1 Límite geográfico	18
2.2.2 Límite operativo	18
2.2.3 Categorización de las fuentes de emisión	20
2.2.4 Año base	25
2.3 Metodología Internacionales para la cuantificación de los (GEI)	25
2.3.1 Guías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)	25
2.3.2 Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI)	26
2.4 Metodologías Nacionales para la cuantificación de los (GEI)	26
2.4.1 Programa País Carbono Neutralidad 2.0	26
3. Características del Inventario	27
3.1 Objetivo del Inventario de Emisiones GEI del cantón de Heredia	28
3.1.1 Objetivo General	28
3.1.2 Objetivos Específicos	28
3.2 Cobertura Geográfica y Resolución Espacial	28
3.3 Año Base	29
3.4 Gases Efecto Invernadero	29
3.5 Tipos y Categorías de Fuentes	29
3.6 Características Temporales	30
3.7 Manejo de los Datos de Emisiones	30

3.8 Control de Calidad	30
4. Metodología para el cálculo de las emisiones de GEI	32
4.1. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones de Fuentes de Área	33
4.1.1. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Consumo Eléctrico	36
4.1.2. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Uso de Hexafluoruro de Azufre en equipos eléctricos	37
4.1.3 Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Uso de Refrigerantes	38
4.1.4. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones en equipos de extinción	42
4.1.5. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Transporte No Convencional	43
4.1.6 Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por uso de combustibles para cocción	44
4.1.7 Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por parte del Sector Agropecuario	46
4.1.6. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Generación de Residuos Sólidos	48
4.1.7. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Generación de Aguas Residuales	51
4.2. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones de Fuentes Fijas	53
4.3. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones de Fuentes Móviles	55
4.4. Metodología para la valoración de la Calidad de los Datos utilizados en la cuantificación de las Emisiones de GEI del cantón de Heredia	56
5. Calidad de los datos	57
6. Resultados de emisiones	62
6.1 Emisiones Totales de CO₂ Equivalente para el Cantón de Heredia	63
6.2 Emisiones de GEI generadas por Fuentes de Área	66
6.2.1 Emisiones por Consumo Eléctrico	66
4.2.1.1 Emisiones por Consumo Eléctrico del Sector Residencial	67
4.2.1.2. Emisiones por Consumo Eléctrico del Sector Industrial	70
4.2.1.3. Emisiones por Consumo Eléctrico en la Categoría General (Comercio, Alumbrado Público, Servicios Preferenciales y Mediana y Alta Tensión)	72
4.2.1.4. Uso de Hexafluoruro de Azufre (SF ₆) en Equipos Eléctricos	74
6.2.2 Emisiones por Uso de Refrigerantes	74
4.2.2.1. Emisiones por Uso de Sistemas de Aires Acondicionados	77
4.2.2.2 Emisiones por Uso de Sistemas de Refrigeración Comercial	79

4.2.2.3 Emisiones por Uso de Sistemas de Congelamiento Comercial	82
4.2.2.4. Emisiones por Uso de Extintores	84
4.2.2.5 Resumen de las Emisiones por Uso de Refrigerantes	86
6.2.3 Emisiones por Uso de Combustibles para Cocción Comercial	88
6.2.4 Emisiones por parte del Sector Agropecuario	91
4.2.5.1. Emisiones Provenientes del Ganado Vacuno	92
4.2.5.2 Emisiones Provenientes del Ganado de Otras Especies	94
4.2.5.3. Emisiones Provenientes de la Gestión del Estiércol	96
4.2.5.4. Emisiones Provenientes del Uso de Suelo para Cultivos	97
4.2.5.5. Resumen de las Emisiones por parte del Sector Agropecuario	99
6.2.5 Emisiones por Generación de Desechos Sólidos	101
6.2.6 Emisiones por Generación de Aguas Residuales	106
6.2.7.1 Emisiones por Aguas Residuales Residenciales	107
4.2.7.2 Emisiones por Aguas Residuales Industriales	109
4.2.7.3 Emisiones por Aguas Residuales Comerciales	110
4.2.7.4 Resumen de las Emisiones por Generación de Aguas Residuales	117
4.3. Emisiones de GEI generadas por Fuentes Fijas	118
4.4 Emisiones de GEI generadas por Fuentes Móviles	120
4.4.1 Emisiones del Transporte Convencional (automóviles)	120
4.4.2 Emisiones del Transporte No Convencional (Ferroviario)	121
4.5 Comparación de las Emisiones de GEI generadas entre el inventario de 2019 y 2021	122
7. Conclusiones y recomendaciones	126
7.1 Conclusiones	127
7.2. Recomendaciones	128
8. Limitaciones	129
9. Bibliografía	132
10. Anexos	136

Índice de Figuras

Figura 1. Descripción gráfica del Efecto Invernadero.	17
Figura 2. Fuentes de emisión por tipo de alcance en un inventario de GEI cantonal.	20
Figura 3. Mapa de los distritos del cantón de Heredia.	28
Figura 4. Distribución porcentual de las emisiones totales por fuente y categoría de emisión para el cantón de Heredia, 2021.	66
Figura 5. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico residencial del cantón de Heredia por mes durante el año 2021.	69
Figura 6. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico residencial del cantón de Heredia por distrito durante el año 2021.	69
Figura 7. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico industrial del cantón de Heredia por mes durante el año 2021.	71
Figura 8. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico Industrial del cantón de Heredia por distrito durante el año 2021.	71
Figura 9. Emisiones de CO _{2eq} (Mg/mes) correspondientes al consumo eléctrico de la categoría general del cantón de Heredia por mes durante el año 2021.	73
Figura 10. Emisiones de CO _{2eq} (Mg) correspondientes al consumo eléctrico de la categoría general del cantón de Heredia por distrito durante el año 2021.	73
Figura 11. Distribución de las emisiones de CO _{2eq} por categoría debido al uso de aire acondicionados para el cantón de Heredia, 2021.	78
Figura 12. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de refrigerantes para aires acondicionados, 2021.	78
Figura 13. Distribución de las emisiones de CO _{2eq} por categoría debido al uso de sistemas de refrigeración comercial para el cantón de Heredia, 2021.	80
Figura 14. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de sistemas de refrigeración comercial, 2021.	81
Figura 15. Distribución de las emisiones de CO _{2eq} por categoría debido al uso de sistemas de congelamiento para el cantón de Heredia, 2021.	82
Figura 16. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de sistemas congelamiento, 2021.	83
Figura 17. Distribución de las emisiones de CO _{2eq} por categoría debido al uso y tenencia de extintores para el cantón de Heredia, 2021.	84
Figura 18. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de extintores, 2021.	86
Figura 19. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de sistemas de cocción, 2021.	89
Figura 20. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de combustibles para cocción, 2021.	90
Figura 21. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} para el ganado vacuno por edad y sexo para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.	94
Figura 22. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} para el ganado vacuno por edad y sexo para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.	95

Figura 23. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por tipo de ganado debido a la gestión del estiércol para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.....	97
Figura 24. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por tipo de cultivo para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.....	98
Figura 25. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por tipo de actividad agropecuaria para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.	100
Figura 26. Composición porcentual de los residuos sólidos para el cantón de Heredia según la caracterización desprendida del diagnóstico de CEGESTI (2013).	101
Figura 27. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por tipo de residuo para el cantón de Heredia, 2021.	106
Figura 28. Distribución porcentual de las emisiones de CO _{2eq} por tipo de agua residual para el cantón de Heredia, 2021.	118
Figura 29. Comportamiento de las emisiones de GEI en el cantón de Heredia para los años 2017, 2019 y 2021.....	124

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Descripción de los alcances incluidos por tipo de emisión de Gas Efecto Invernadero.	19
Cuadro 2. Descripción de cada sector y subsector de generador emisiones de GEI en una región.	22
Cuadro 3. Consumo de combustibles por tipo y emisiones de CO _{2eq} (Mg) provenientes de las fuentes móviles para el cantón de Heredia, 2021.	34
Cuadro 4. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para la categoría Uso de Energía.	36
Cuadro 5. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para los equipos eléctricos que utilizan SF ₆	37
Cuadro 6. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para los equipos que utilizan refrigerante.	40
Cuadro 7. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para equipos de extinción del sector comercial del cantón de Heredia.	42
Cuadro 8. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para el transporte no convencional que transita por el cantón de Heredia.	43
Cuadro 9. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero por uso de combustible para la cocción en el sector comercial del cantón de Heredia.	44
Cuadro 10. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero del Sector agropecuario del cantón de Heredia.	47
Cuadro 11. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero de los residuos sólidos generados en el cantón de Heredia.	49
Cuadro 12. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero de las aguas residuales generados en el cantón de Heredia.	51
Cuadro 13. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero generados por los hornos y calderas en el cantón de Heredia.	54
Cuadro 14. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero generados por las fuentes móviles en el cantón de Heredia.	55
Cuadro 15. Escala de calificación de la confiabilidad de los datos de la estimación de emisiones.	56
Cuadro 16. Confiabilidad de los datos utilizados para la cuantificación de emisiones de Gases Efecto invernadero en el cantón de Heredia.	59
Cuadro 17. Resumen de las emisiones totales de CO _{2eq} por categoría de emisión para el cantón de Heredia, 2021.	64
Cuadro 18. Resumen de las emisiones totales de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) por fuente y categoría de emisión con sus respectivos pesos porcentuales para el cantón de Heredia, 2021.	65
Cuadro 19. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) generadas por el consumo de electricidad del sector residencial del cantón de Heredia segregado por distritos para el año 2021.	68
Cuadro 20. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) generadas por el consumo de electricidad del sector industrial del cantón de Heredia segregado por distritos para el año 2021.	70
Cuadro 21. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) generadas por el consumo de electricidad de la categoría general para el cantón de Heredia segregado por distritos para el año 2021.	72
Cuadro 22. Emisiones totales de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) para los equipos de aire acondicionado por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.	79

Cuadro 23. Emisiones totales de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) para los sistemas de refrigeración comercial por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.....	81
Cuadro 24. Emisiones totales de CO _{2eq} (Mg) para los sistemas de congelamiento por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.	83
Cuadro 25. Emisiones totales de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) por el uso y tenencia de extintores según distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.	85
Cuadro 26. Emisiones totales de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) por fuente para cada distrito y totales para el cantón de Heredia, 2021.	87
Cuadro 27. Emisiones totales de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) por categoría para cada distrito y totales para el cantón de Heredia, 2021.	87
Cuadro 28. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) debido al uso de combustibles para cocción por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.	89
Cuadro 29. Cabezas de ganado vacuno segregadas por edad, sexo y tipo para el cantón de Heredia según información del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.....	93
Cuadro 30. Emisiones de metano (kg) y CO _{2eq} (Mg) generadas por el ganado vacuno para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.	93
Cuadro 31. Emisiones de metano (kg/año) y CO _{2eq} (Mg/año) generadas por otros tipos de ganado distintos al vacuno para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.....	95
Cuadro 32. Emisiones de metano (kg/año) y CO _{2eq} (Mg/año) debido a la gestión del estiércol para diferentes tipos de ganado en el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.	96
Cuadro 33. Emisiones de óxido nitroso (kg/año) y CO _{2eq} (Mg/año) debido al área sembrada de diferentes cultivos en el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.	98
Cuadro 34. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) debido a las actividades del sector agropecuario en el cantón de Heredia en 2021 con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.....	100
Cuadro 35. Masa de residuos sólidos totales y por tipo de residuos (Mg) para el cantón de Heredia, 2021.	103
Cuadro 36. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) debido a los residuos sólidos en el cantón de Heredia, 2021.	104
Cuadro 37. Emisiones de CO _{2eq} en megagramos (toneladas) para las aguas residuales residenciales tratadas en las plantas de la ESPH en el cantón de Heredia, 2021.	108
Cuadro 38. Emisiones de CO _{2eq} (Mg/año) para las aguas residuales residenciales en el cantón de Heredia, 2021.....	109
Cuadro 39. Emisiones de CO _{2eq} (Mg) para las aguas residuales industriales en el cantón de Heredia, 2021.	110
Cuadro 40. Emisiones de CO _{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.	111
Cuadro 41. Emisiones de CO _{2eq} (Mg) por tipo de agua residual para el cantón de Heredia, 2021.	118
Cuadro 42. Emisiones de CO _{2eq} (Mg) debido a fuentes fijas para el cantón de Heredia, 2021.....	119
Cuadro 43. Emisiones de CO _{2eq} (Mg/año) provenientes de las fuentes móviles para el cantón de Heredia, 2021.....	121

Cuadro 44. Emisiones totales de CO _{2eq} (Mg) debido al uso de combustible Diesel para transporte de personas en el ferrocarril para el cantón de Heredia, 2021.	122
Cuadro 45. Comparación de las emisiones de GEI del cantón de Heredia entre el año 2019 Y 2021.	123

Lista de acrónimos

CFC: Clorofluorocarbono

CIIU: Código Industrial Internacional Uniforme

CNFL: Compañía Nacional de Fuerza y Luz

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

DA: Dato de actividad

ESPH: Empresa de Servicios Públicos de Heredia

FC: Factor de Corrección

FE: Factor de Emisión

HFC: Hidrofluorocarbonos

INCOFER: Instituto Costarricense de Ferrocarriles

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

LPG: Gas Licuado Petróleo

GEI: Gases Efecto Invernadero

PCG: Potencial de Calentamiento Global

PFC: Perfluorocarbonos

PPCN: Plan País de Carbono Neutralidad

RECOPE: Refinadora Costarricense de Petróleo

Ton: toneladas

Mg CO_{2eq}: Megagramos de CO₂ equivalente

SAO: Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono

COD: Carbono Orgánico Degradable

Presentación

Costa Rica como parte de sus Estrategias Nacionales de Cambio Climático pretende posicionarse como país carbono neutral para el 2050, siendo este uno de los compromisos de más alto nivel en el Plan Nacional de Desarrollo, enmarcado dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y acuerdos internacionales ratificados, como lo es el Acuerdo París.

La cuantificación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero constituye así el primer paso para lograr esa meta propuesta, pues mediante esta se establece la línea base de acción que conduce a la identificación de las principales fuentes de emisión, las posibles líneas de acción para su reducción, así como a la ejecución de acciones para la mitigación y compensación de las emisiones remanentes.

Derivado de lo anterior, es como la Municipalidad de Heredia en conjunto con el Centro el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional unen esfuerzos para realizar la segunda cuantificación de las emisiones de GEI para el año 2021. Siendo este instrumento un insumo para que el gobierno local fortalezca la toma de decisiones en cuanto al desarrollo de medidas y programas que permitan la reducción de estas emisiones y poder así contribuir a la meta de carbono neutralidad.

A nivel nacional se establece la Guía de Implementación del Programa País Carbono Neutralidad (PPCN) 2.0 como instrumento oficial en el cálculo de estas emisiones, no obstante, la cuantificación planeada en este documento también incluye metodología internacional del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), la cual optimiza la métrica al considerar especificaciones de la fuente de emisión.

Por lo tanto, el presente inventario de emisiones de GEI recopila información que permite determinar los tipos de fuentes de emisiones, cantidades de emisiones GEI generadas y características espaciales de las fuentes. La información contenida en este documento puede ser utilizada para identificar las fuentes que están sujetas a posibles medidas de control, para medir la efectividad de los programas de control y predecir futuros niveles de emisión. Esperamos que este esfuerzo sirva como instrumento de gestión ambiental y como

punto de partida en el mejoramiento y establecimiento de estrategias orientadas a la reducción de estas emisiones.

M.Sc. José Felix Rojas Marín

Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental

Universidad Nacional



1. Introducción

La degradación de la capa de ozono estratosférico, el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire en las zonas urbanas son, sin duda, uno de los problemas ambientales más importantes que se enfrentan en la actualidad (Semanart, 2018). Los impulsores físicos de esta problemática que alteran el presupuesto energético de la Tierra y generan el cambio climático están constituidos por sustancias y procesos naturales y antropógenos (IPCC, 2014).

El factor dominante del forzamiento radiativo¹ en el clima en los últimos veinte años es el aumento de la concentración en la atmósfera de varios gases denominados Gases Efecto Invernadero (GEI), derivados del aumento de ciertas actividades humanas. Entre los GEI de larga duración en la atmósfera se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) (IPCC, 2018).

A nivel mundial, según el último análisis de las observaciones del Programa VAG de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se estima que las fracciones molares superficiales promediadas calculadas a partir de esta red in situ para el CO_2 , CH_4 y el N_2O alcanzaron nuevos máximos para el 2018, con concentraciones de $407,8 \pm 0,1$ ppmv, $1\,869 \pm 2$ ppbv y $331,1 \pm 0,1$ ppbv respectivamente (OMM, 2019). Lo cual genera una preocupación a nivel mundial de no sobrepasar estos valores en los próximos años y generar iniciativas de disminución en las fuentes de emisión más importantes.

Las causas principales del aumento del CO_2 atmosférico se derivan del uso de combustibles fósiles y del impacto del cambio en los usos del territorio en el carbono acumulados en las plantas y en el suelo. Las principales fuentes que incrementan la generación de metano CH_4 son el ganado, la descomposición de la materia orgánica en el suelo inundado, la eliminación y el tratamiento de basuras y desechos humanos por descomposición anaeróbica. El incremento del N_2O se debe principalmente a las actividades relacionadas a la agricultura (uso de fertilizantes y abonos) y a los cambios asociados al uso de la tierra (IPCC, 2018).

¹ Según el IPCC (2018) el forzamiento radiativo es una medida de la influencia que tiene un factor para modificar el equilibrio de la energía entrante y saliente en el sistema atmosférico de la Tierra y representa un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial del cambio climático. El forzamiento positivo tiende a calentar la superficie mientras el forzamiento negativo tiende a enfriarla.

Centroamérica es una de las regiones más susceptibles al cambio climático por sus condiciones de vulnerabilidad socioeconómica, débil gestión del riesgo y alta exposición a amenazas naturales, lo que aumenta la posibilidad del riesgo climático y la ocurrencia de desastres (Aguilar, Valerio, Molina, & Rodríguez, 2020). Costa Rica no es la excepción, pues en los últimos años ha presentado fenómenos como huracanes, fuertes lluvias, inundaciones y sequías (Gobierno de Costa Rica, 2018).

Es por esta razón que los impactos ambientales, sociales y económicos de la contaminación atmosférica hacen necesario conocer no solo las concentraciones de los principales contaminantes, sino también sus fuentes de origen y sus volúmenes de emisión. El volumen y las características de los contaminantes emitidos a la atmósfera, tanto local como regionalmente, determinan en buena medida la calidad del aire en una zona particular (Semanart, 2018).

La determinación de estos volúmenes de emisión es fundamental para que una región o nación desarrolle estrategias para mejorar la calidad del aire. Esta información debe ser sintetizada a través de un inventario de emisiones, el cual recopila datos que sirven como puntos iniciales de referencia para entender los orígenes, la cantidad, las características temporales y espaciales de las fuentes de emisión en el área de estudio, y así poder medir la efectividad de los programas de control y predecir futuros niveles de calidad del aire a través de modelación (INE-SEMANART, 2005).

El país por su parte se ha propuesto la meta de alcanzar la carbononeutralidad para el 2050 (Vega J. , 2017). En miras de cumplir dicha meta, a nivel municipal es fundamental generar la iniciativa de cuantificar las emisiones de GEI que permitan desde lo local conocer las fuentes potenciales de reducción, y así sumarse a las estrategias de reducción, mitigación y adaptación existentes a nivel nacional. Es así como en el presente documento se sintetiza el esfuerzo realizado por la Municipalidad de Heredia en conjunto el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional en la cuantificación de las emisiones de GEI generadas en el año 2021 en el cantón de Heredia.



2. Marco Teórico

2.1 Cambio Climático y Calentamiento Global

El cambio climático (CC) y el Calentamiento Global (CG) son dos términos distintos, sin embargo, se relacionan entre sí. El primero se define, de acuerdo con la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) citada por Benavides & León (2007), como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. El segundo se puede entender como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de Efecto Invernadero (GEI) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales (Benavides & León, 2007).

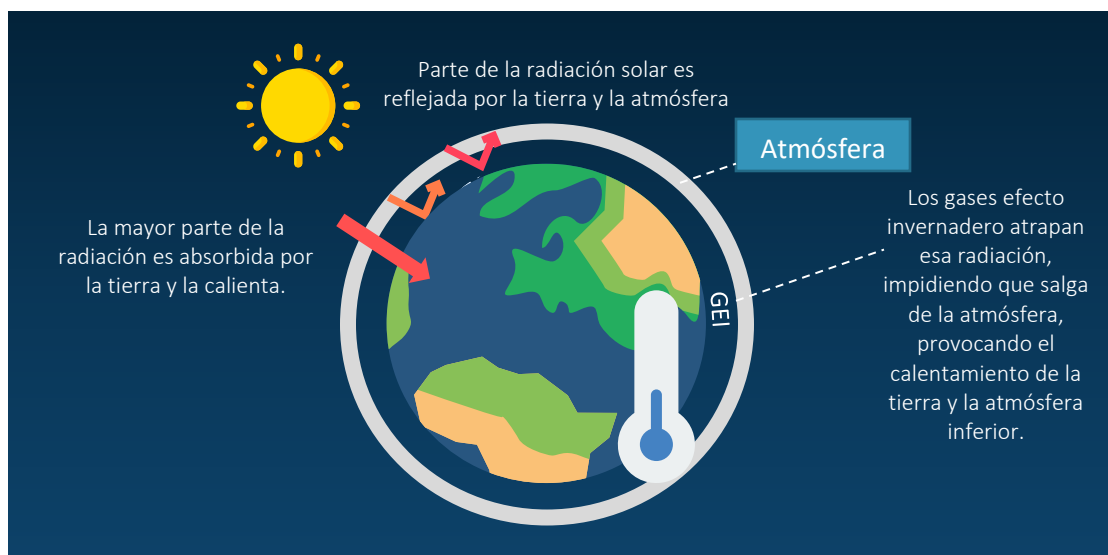
La influencia humana sobre el clima ha sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (IPCC, 2019).

2.1.1 Efecto Invernadero

La vida en la Tierra depende de la energía que recibe del Sol; cerca de la mitad de la luz que llega a la atmósfera del planeta pasa a través del aire y las nubes para llegar a la superficie donde se absorbe y luego se emite hacia el espacio en forma de ondas infrarrojas (calor). De este calor, el 90% es absorbido por gases conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Semanart, 2018). Estos gases dejan pasar la radiación solar a través de la atmósfera casi sin obstáculo, pero absorben la radiación infrarroja que emite la superficie de la Tierra e, incluso, irradian nuevamente una parte hacia ella, produciendo un efecto neto de calentamiento, de manera similar a lo que ocurre en los invernaderos (**Figura 1**). Este efecto mantiene la temperatura de la superficie del planeta más caliente de lo que sería sin su existencia y es responsable, en mucho, de la vida en la Tierra (Semanart, 2007).

El efecto invernadero ocurre de manera natural y sin él, la temperatura promedio de la Tierra sería inferior a los -18 °C. Sin embargo, actividades humanas como la quema de

combustibles fósiles y la deforestación de los bosques y selvas intensifican el efecto invernadero natural, al incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero y modificar con ello la composición de la atmósfera de la Tierra (Semanart, 2018).



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 1. Descripción gráfica del Efecto Invernadero.

2.1.2 Gases de Efecto Invernadero (GEI)

El IPCC (2018) define un GEI como componente gaseoso de la atmósfera natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero (IPCC, 2018). Si bien los GEI son componentes naturales y fundamentales de la atmósfera, el problema reside en la elevada concentración de estos (Rojas, 2014).

Las ciudades y organizaciones deben reportar todas las emisiones de los siete gases actualmente requeridos en todos los reportes de inventarios de GEI contemplados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de nitrógeno (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF_6), y trifluoruro de nitrógeno (NF_3) (Kean Fong, y otros, 2014).

2.1.3 Potencial de calentamiento Global

No todos los GEI tienen la misma capacidad para atrapar los rayos ultravioletas, por lo cual se ha establecido un índice llamado potencial de calentamiento global (PCG), el cual mide de manera relativa cuánto calor puede ser atrapado por un determinado GEI, en comparación con el dióxido de carbono. El PCG puede ser calculado para diferentes horizontes de tiempo, siendo 100 años el valor más frecuente (Rojas, 2014).

2.2 Características necesarias para el inventario de emisiones

Cada inventario de emisiones posee características específicas de acuerdo con el propósito que busca alcanzarse (p.ej. tipos de contaminantes y de fuentes, año base, etc.). Algunos inventarios pueden considerar sólo algunas de estas características, mientras que otros pueden requerir especificaciones muy detalladas para cada una de las características (INE-SEMANART, 2005). A continuación, se detallan las características fundamentales para el desarrollo de un inventario.

2.2.1 Límite geográfico

Un límite geográfico se utiliza para identificar la dimensión espacial o el perímetro físico del límite del inventario. Es importante mencionar que se debe mantener ese límite para poder generar una comparación consistente del inventario a través del tiempo (Kean Fong, y otros, 2014). En el caso de un inventario cantonal el límite puede ser (Vega J. , 2017):

- **Cantonal:** incluyendo la totalidad del área geográfica del cantón.
- **Distrital:** este tipo de límite aplica para los distritos con Concejo de Distrito reconocido o para aquellos cantones donde la municipalidad establezca que va a participar del programa en uno o varios distritos, pero no en la totalidad del cantón.

2.2.2 Límite operativo

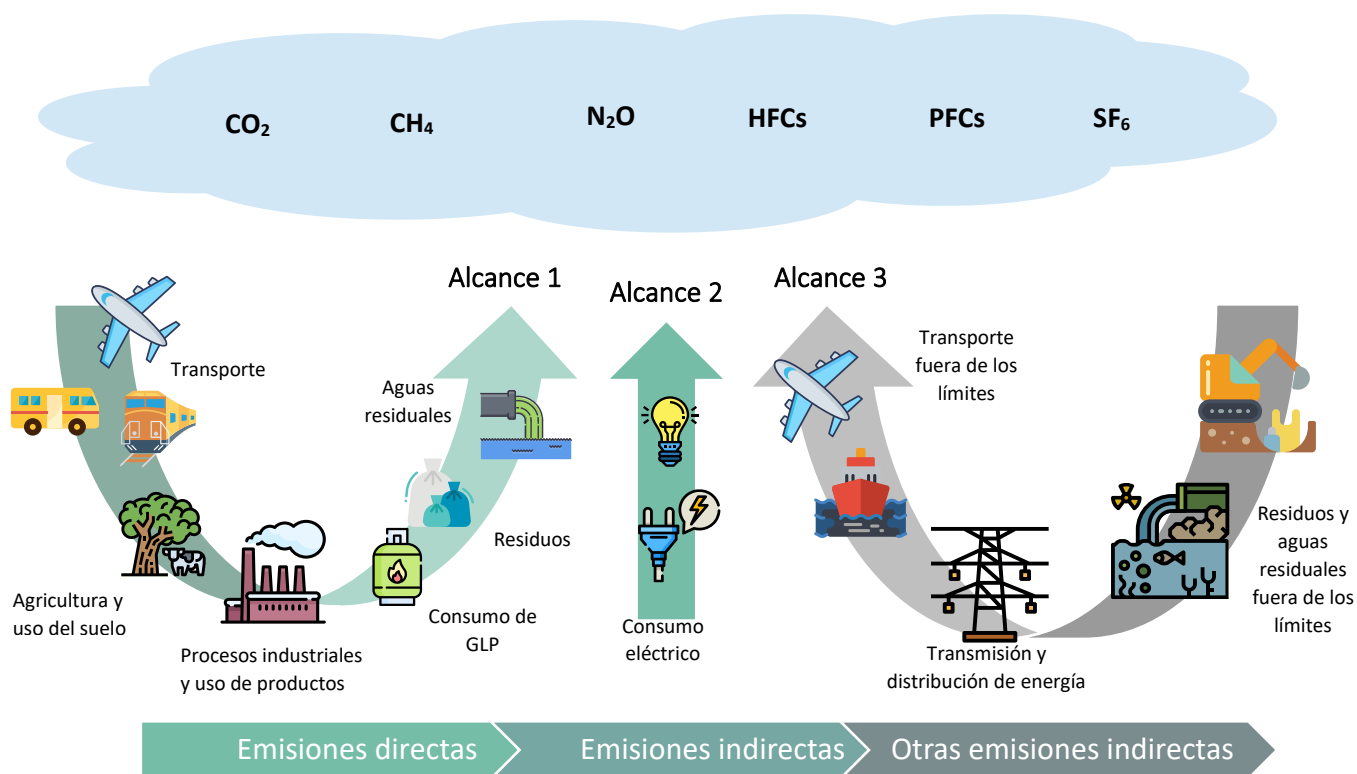
Esto involucra identificar emisiones asociadas a las actividades desarrolladas en el cantón clasificándolas como emisiones directas o indirectas, y seleccionar el alcance de contabilidad y reporte para las emisiones indirectas. En el **Cuadro 1** se encuentra la descripción de cada uno de los alcances que contempla un inventario de GEI y en la **Figura**

2, se puede observar las fuentes más comunes incluidas en cada uno de los alcances para un inventario cantonal.

Cuadro 1. Descripción de los alcances incluidos por tipo de emisión de Gas Efecto Invernadero.

Alcance	Tipo de emisión	Descripción
Alcance 1	Emisiones directas de GEI	Las emisiones directas ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa y que se localizan dentro del cantón.
Alcance 2	Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad	Este alcance incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida dentro del cantón.
Alcance 3	Otras emisiones indirectas	Este constituye una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa. Además, incluye fuentes que pueden emitirse fuera del cantón pero que se generan como producto de una actividad que se lleva a cabo dentro de este.

Fuente: Elaboración propia con base en Ranganathan et al. (2015).



Fuente: Elaboración propia con base en Vega (2017).

Figura 2. Fuentes de emisión por tipo de alcance en un inventario de GEI cantonal.

Según las normas internacionales y las guías nacionales vigentes, el alcance 3 no es de carácter obligatorio, por lo que va a depender de cada municipio y del objetivo de inventario, la inclusión de estas otras emisiones indirectas en el inventario.

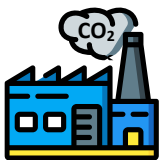
2.2.3 Categorización de las fuentes de emisión

Los inventarios pueden incluir uno o varios tipos de fuentes de emisión. En general, estas fuentes se agrupan en cuatro categorías principales: puntuales (aquellas que se dan en un punto fijo o estacionario, como calderas, hornos, industrias químicas, refinería de petróleo, fábricas), móviles (incluyendo las diversas formas de transporte por carretera), área (serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no se pueden inventariar de forma eficiente en un inventario de fuentes puntuales) y naturales (emisiones biogénicas y de suelos). La estimación de los aportes de las emisiones de las diversas fuentes se puede realizar utilizando las siguientes técnicas (Herrera J. , 2014):

- **Muestreo en fuente:** Son las mediciones directas de la concentración de los contaminantes en un volumen de gas medido y su respectivo caudal.
- **Modelos de emisión:** son ecuaciones desarrolladas que permiten estimar las emisiones, a partir de uno o más parámetro que caracterizan los procesos y que resultan sustancialmente más fáciles de medir.
- **Encuestas:** Son cuestionarios diseñados para recopilar datos de emisión.
- **Factores de emisión:** Son relaciones entre la cantidad de contaminante emitido y una sola unidad de actividad. La actividad puede consistir en datos basados en procesos (e.g, producción, horas de operación, área superficial) o en datos basados en censos (e.g., población, número de empleados).
- **Balance de masas:** Se usan mediciones de todos los componentes, de un proceso, excepto el aire para determinar las emisiones.
- **Extrapolación:** consiste en el escalamiento de las emisiones de una fuente dada a otra con base en un parámetro de escalamiento conocido para ambas fuentes (e.g., cantidad de producción, área del terreno, número de empleados).



La guía cantonal del Programa País 2.0 (2017) clasifica también las fuentes en cinco sectores, los cuales se dividen en subsectores que corresponden a las actividades que generan emisiones de GEI dentro del sector. En la guía se detalla esta clasificación realizada, que está orientada a las fuentes que se pueden encontrar a nivel cantonal y que deben ser consideradas dentro de un inventario de GEI (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Descripción de cada sector y subsector de generador emisiones de GEI en una región.

Sector	Descripción	GEI relacionados	Subsectores	Descripción
Sector Energía Estacionaria 	Emisiones que provienen de la quema de combustible fósil (gas LPG, gasolina, diésel, bunker u otros), además de las emisiones fugitivas liberadas en el proceso de generación y consumo de electricidad.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	Las emisiones provenientes de la producción y el uso de energía estacionaria.	Las emisiones provenientes de la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato estacionario diseñado para aumentar el calor y proporcionarlos, ya sea como calor o como trabajo mecánico a un proceso, o para su uso fuera del aparato. Ej.: uso de calderas y hornos.
			Edificios residenciales, comerciales, institucionales.	Todas las emisiones provenientes del uso de energía en las edificaciones.
			Construcción e industrias manufactureras.	Todas las emisiones provenientes del uso de energía en instalaciones industriales y actividades de construcción ubicadas en el cantón o distrito, excepto las incluidas en el subsector de las industrias de energía. Esto también incluye la combustión para la generación de electricidad y calor para uso propio en estas industrias.
			Industrias energéticas.	Todas las emisiones provenientes de la producción de energía y el uso de energía en las industrias energéticas como plantas térmicas, centros de generación de electricidad, planteles de almacenamiento y distribución de combustibles, ubicadas en el cantón o distrito.
			Generación de energía suministrada por red.	Todas las emisiones provenientes de la generación de energía para electricidad distribuida en red que se consume dentro de los límites del cantón o distrito.
			Actividades agrícolas, de silvicultura y de pesca.	Todas las emisiones provenientes del uso de energía en la agricultura, la silvicultura y la pesca.
			Fuentes no especificadas.	Todas las demás emisiones provenientes de instalaciones que producen y consumen energía no especificados en otra parte.
			Emisiones fugitivas provenientes de combustibles.	Incluye todas las emisiones intencionales y no intencionales provenientes de la extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte del combustible hasta el punto de uso final.


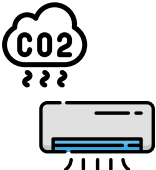
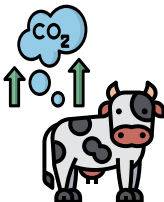
Fuente: Elaboración propia con base en Vega (2017)

Cuadro 2 (Continuación). Descripción de cada sector y subsector de generador emisiones de GEI en una región.

Sector	Descripción	GEI relacionados	Subsectores	Descripción
Sector energía estacionaria 	Emisiones que provienen de la quema de combustible fósil (gas LPG, gasolina, diésel, bunker u otros), además de las emisiones fugitivas liberadas en el proceso de generación y consumo de electricidad.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	Minería, procesamiento, almacenamiento y transporte de carbón.	Incluye todas las emisiones intencionales y no intencionales provenientes de la extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte del combustible en el cantón o distrito.
			Petróleo y sistemas de gas natural.	Emisiones fugitivas provenientes de todas las actividades de petróleo y gas natural que se producen en la ciudad.
Sector transporte 	Los vehículos de transporte y máquinas o equipos móviles producen emisiones de GEI directamente por la quema de combustible o, indirectamente, por el consumo de electricidad suministrado en red.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	Transporte por Carreteras.	Emisiones de los autos, taxis, autobuses eléctricos o que funcionan con combustibles, que se movilizan dentro de los límites del cantón o el distrito.
			Ferrovionario.	Emisiones el sistema de ferrocarril que se movilizan dentro de los límites del cantón o el distrito.
			Transporte marítimo.	Emisiones de los buques, transbordadores y otras embarcaciones que operan dentro de los límites de la ciudad, así como buques de navegación marítima, cuyos viajes se originan o terminan en los puertos dentro de los límites de la ciudad, pero que viajan a destinos fuera del cantón o distrito.
			Aviación.	Emisiones de los viajes en el aire que se producen dentro de los límites geográficos (por ejemplo, los helicópteros que operan dentro de la ciudad) y las emisiones provenientes de los vuelos que salen de aeropuertos que brindan servicios al cantón o distrito.
			Fuera de carreteras.	Emisiones de los equipos de soporte terrestre en aeropuertos, tractores agrícolas, motosierras o montacargas usados dentro de los recintos de instalaciones de transporte como aeropuertos, puertos, terminales de autobuses y estaciones de tren en el cantón o distrito.

Fuente: Elaboración propia con base en Vega (2017)

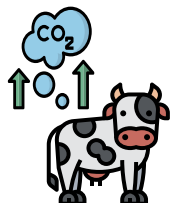
Cuadro 2 (Continuación). Descripción de cada sector y subsector de generador emisiones de GEI en una región.

Sector	Descripción	GEI relacionados	Subsectores	Descripción
Sector residuos 	Residuos sólidos y aguas residuales dispuestas o tratadas dentro de instalaciones ubicadas en el cantón o distrito o transportados a otras ciudades para su tratamiento.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	Residuos sólidos generados en la ciudad que son dispuestos en rellenos sanitarios o vertederos a cielo abierto.	Emisiones provenientes de la disposición de residuos en vertederos como acumulaciones de residuos en lotes baldíos o dispuestos en rellenos sanitarios.
			Residuos sólidos generados en la ciudad que son tratados biológicamente.	Emisiones provenientes de sistemas de tratamiento de residuos biológicos como biodigestores o reactores biológicos anaerobios.
			Residuos sólidos generados en la ciudad que se incineran o se queman a cielo abierto.	Emisiones de la quema de residuos.
			Aguas residuales generadas en la ciudad.	Emisiones de las aguas residuales generadas en el cantón o distrito y que se tratan en instalaciones públicas o privadas.
Sector procesos industriales y uso de productos 	Todas emisiones de GEI provenientes de procesos industriales, uso de productos y usos no energéticos de los combustibles fósiles.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFCs, SF ₆ , NF ₃ , HCFC y CFC.	Procesos industriales.	Emisiones provenientes de la producción y uso de productos químicos, minerales y producción de metales dentro de los límites del cantón o distrito.
			Uso de Productos.	Emisiones provenientes de uso de productos como lubricantes, ceras parafinadas, gases fluorocarbonados empleados en la industria electrónica y gases fluorados que se usan como sustitutos de las sustancias agotadoras de la capa de ozono.
Sector agricultura, silvicultura y otros usos del suelo 	Emisiones de GEI provenientes de múltiples fuentes como cambios de los usos del suelo que modifican la composición del suelo; el metano producido en los procesos digestivos de los animales de granja y el manejo de nutrientes en fincas agrícolas.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	Ganadería.	Emisiones provenientes de la fermentación entérica y la gestión del estiércol de animales de ganadería.
			Suelo.	Emisiones provenientes de las transformaciones del carbono en los ecosistemas por cambios en el uso del suelo según su tipo: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos u otros.

Fuente: Elaboración propia con base en Vega (2017)

Cuadro 2 (Continuación). Descripción de cada sector y subsector de generador emisiones de GEI en una región.

Sector	Descripción	GEI relacionados	Subsectores	Descripción
Sector agricultura, silvicultura y otros usos del suelo	Emisiones de GEI provenientes de múltiples fuentes como cambios de los usos del suelo que modifican la composición del suelo; el metano producido en los procesos digestivos de los animales de granja y el manejo de nutrientes en fincas agrícolas.	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	Fuentes agregadas y emisiones procedentes de fuentes del suelo distintas al CO ₂ .	Emisiones provenientes de la quema de biomasa, la aplicación de cal, la aplicación de urea, N ₂ O directo proveniente de suelos gestionados, N ₂ O indirecto de suelos gestionados, N ₂ O indirecto de la gestión del estiércol, cultivos de arroz y productos de madera recolectados.



Fuente: Elaboración propia con base en Vega (2017)

2.2.4 Año base

Cada inventario de emisiones posee características específicas de acuerdo con el propósito que busca alcanzarse (p.ej. tipos de contaminantes y de fuentes, año base, etc.). Algunos inventarios pueden considerar sólo algunas de estas características, mientras que otros pueden requerir especificaciones muy detalladas para cada una de las características. Esto constituye una base de comparación con otros inventarios previos y posteriores (INE-SEMANART, 2005). El año base constituye la línea base para esta comparación consistente de las emisiones del cantón a través del tiempo. Para esto se requiere la contabilización de las emisiones de 12 meses completos y continuos en un año natural (Vega J. , 2017).

2.3 Metodología Internacionales para la cuantificación de los (GEI)

2.3.1 Guías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)

Estas guías fueron emitidas en el año 2006 por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Estas constituyen el resultado de la invitación efectuada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para actualizar las Directrices, versión revisada en 1996 y la orientación de buenas prácticas asociadas, en las que se brindan metodologías acordadas internacionalmente para que se utilicen en los

países, con el objeto de estimar los inventarios de GEI e informarlos a la CMNUCC (IPCC, 2006).

2.3.2 Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI)

El Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI) constituye una iniciativa lanzada en 1998 entre multipartita de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD). Este protocolo lo que establece son marcos globales estandarizados integrales para medir y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las operaciones del sector público y privado, las cadenas de valor y las acciones de mitigación (Ranganathan , Moorcroft, Koch, & Bhatia , 2015).

2.4 Metodologías Nacionales para la cuantificación de los (GEI)

2.4.1 Programa País Carbono Neutralidad 2.0

Esta metodología constituye la iniciativa gubernamental para la oficialización de los procesos relacionados con el reporte de inventarios de GEI para organizaciones y regiones, y la aplicación de la INTE 12-01-06 Norma para demostrar carbono neutralidad. El objetivo es guiar a los cantones y a los distritos de Costa Rica para la implementación del Programa país carbono neutralidad cantonal de acuerdo con la metodología y las acciones de mitigación identificadas y desarrolladas para este fin (Vega J. , 2017).



3. Características del Inventario

3.1 Objetivo del Inventario de Emisiones GEI del cantón de Heredia

3.1.1 Objetivo General

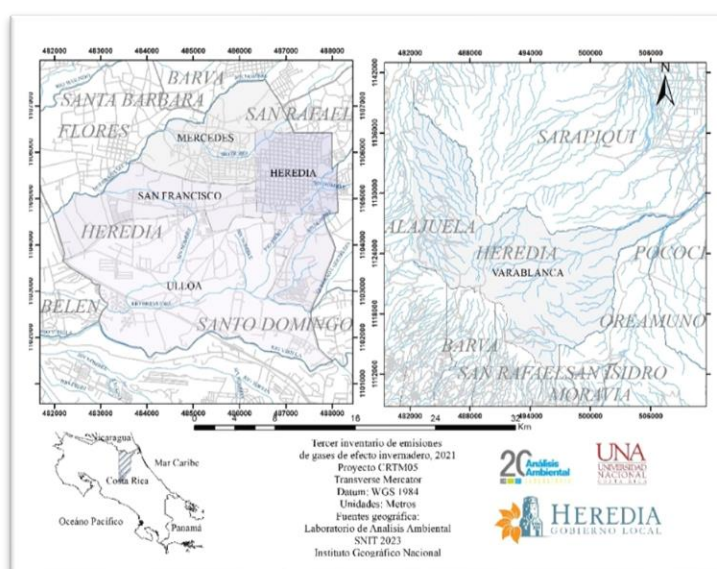
Estimar las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en el cantón de Heredia durante el año 2021, con el fin de orientar los planes de acción climática a ser desarrollados en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Reportar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas en el cantón de Heredia como punto de partida hacia la Carbono Neutralidad.
- Desarrollar un sistema confiable de contabilización de carbono que le permita a la organización, el desarrollo de acciones tanto de mitigación como adaptación en materia de cambio climático.

3.2 Cobertura Geográfica y Resolución Espacial

El cantón de Heredia cuenta con 5 distritos, tal como se observa en la **Figura 3**. Estos son: Heredia, Mercedes, San Francisco, Ulloa y Vara Blanca.



Fuente: Elaboración propia con base en el Sistema Nacional de Información Territorial & ESRI (2018).

Figura 3. Mapa de los distritos del cantón de Heredia.

3.3 Año Base

El año del tercer Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el cantón de Heredia es 2021, ya que el Primer (año base) y Segundo Inventario de Emisiones tienen como año base 2017 y 2019 respectivamente, de manera que se busca actualizar la información para monitorear las tendencias y los esfuerzos que se hacen en el cantón por controlar sus emisiones y reducirlas.

3.4 Gases Efecto Invernadero

El inventario incluye las emisiones estimadas para cuatro compuestos que corresponden a algunos de los principales gases de efecto invernadero:

- Dióxido de Carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido Nitroso (N_2O)
- Hexafluoruro de Azufre (SF_6)

De la lista anterior, el hexafluoruro de azufre se enlista como potencial emisión, para evidenciar su presencia dentro del cantón y la importancia de su monitoreo, más no se cuantifica dentro del total de emisiones del cantón en tanto este no necesariamente fuga y si lo hace dichas emisiones se contabilizan dentro del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y no en el cantonal para evitar duplicidad en las emisiones.

3.5 Tipos y Categorías de Fuentes

El inventario incluye las emisiones generadas por tres tipos específicos de fuentes de emisión a saber:

-Fuentes de Área: Las fuentes de área representan las emisiones de las fuentes que son demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales. En conjunto, sin embargo, las fuentes de área son emisoras significativas que deben incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que esté completo.

Dentro de las fuentes de área se consideran las siguientes categorías:

- Consumo de electricidad
- Uso de refrigerantes
- Transporte no convencional
- Combustibles para cocción
- Emisiones agropecuarias
- Emisiones por desechos sólidos
- Emisiones por aguas residuales

-**Fuentes Fijas:** Las fuentes fijas son plantas industriales estacionarias (manufactura o producción) que generan emisiones desde equipos estacionarios a través de chimeneas o ductos de venteo.

-**Fuentes Móviles:** corresponde a las fuentes de emisión que no están fijas y hace referencia a las emisiones provenientes de automóviles y camiones, es decir del transporte tradicional.

3.6 Características Temporales

Para el presente inventario se trabajará con estimaciones anuales para el año 2021 y no se realizó ningún análisis sobre variaciones estacionales, mensuales, diarias u horarias. No obstante, se realizó un análisis comparativo de las emisiones generadas en el año base (2017) y el inventario anterior (2019).

3.7 Manejo de los Datos de Emisiones

Para compilar los datos, estimar las emisiones y desplegar los resultados en forma de cuadros y gráficas se utilizan hojas de cálculo electrónicas diseñadas en el programa Microsoft Excel o en algún otro software de procesamiento de datos y preparación de análisis estadístico.

3.8 Control de Calidad

La meta general en lo que a calidad se refiere es integrar un inventario de emisiones de alta calidad, preciso e integral para el cantón de Heredia. Para asegurar la calidad de los datos de todas las fuentes y categorías, se seguirá lo planteado en la Metodología para la

Medición, Reporte y Verificación de las Emisiones, Reducciones, Remociones y Compensaciones de GEI a nivel cantonal para Costa Rica establecido por el Programa País Carbono Neutralidad 2.0.



4. Metodología para el cálculo de las emisiones de GEI

4.1. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones de Fuentes de Área

Según las guías internacionales y nacionales, las emisiones de GEI deben reportarse en unidad de tonelada de CO₂ equivalente. El principio básico de cuantificación es utilizando un dato de actividad, el cual incluye parámetros de las actividades de proceso para las fuentes identificadas. Este debe ser multiplicado por un factor de emisión que expresa la relación existente entre la cantidad de un contaminante emitido y una unidad de actividad (SEMENART, 2005). Posteriormente se multiplica por un Potencial de Calentamiento Global asociado al GEI emitido por la actividad. La ecuación general utilizada para la cuantificación de las emisiones en el presente inventario se describe a continuación:

$$\text{Ton de CO}_2\text{eq} = DA \times FE \times PCG \quad (1)$$

Donde:

DA = Dato de actividad

FE= Factor de Emisión

PCG= Potencial de calentamiento global asignado al gas contaminante

El dato de actividad corresponde a información aportada por la Municipalidad de Heredia o instituciones pertinentes. Por otra parte, el factor de emisión y potencial de calentamiento global a utilizar son los indicados por el IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) y el IMN (Instituto Meteorológico Nacional). En el **Cuadro 3** se resumen las fuentes de emisión incluidas en este inventario, los GEI asociados, así como las fuentes de información utilizadas.

Cuadro 3. Consumo de combustibles por tipo y emisiones de CO_{2eq} (Mg) provenientes de las fuentes móviles para el cantón de Heredia, 2021.

Tipo de fuente	Fuente de emisión	GEI asociado					Dato de actividad	Fuente de la información	Fuente del FE asociado
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC-PHC	SF ₆			
Área	Consumo eléctrico	a					kWH/año	ARESEP, 2021.	IMN, 2022.
	Uso de refrigerantes				a		Carga del refrigerante	Recolección de la información a partir de una encuesta aplicada al sector comercio.	IPCC, 2006.
	Uso de SF ₆ en equipo eléctricos*					a	Carga de SF ₆ en los equipos	ESPH, 2021.	IMN, 2022.
	Extintores de CO ₂	a					Carga del extintor en unidades de masa.	Recolección de la información a partir de una encuesta aplicada al sector comercio.	Se asume que todo el contenido del extintor es expulsado a la atmósfera.
	Transporte no convencional	a	a	a			Litros de combustible /año	INCOFER, 2021.	IMN, 2022.
	Uso de combustibles de cocción	a					Consumo de combustible/año	Recolección de la información a partir de una encuesta aplicada al sector comercio.	Se asume que el 100% se combustiona a CO ₂ .
	Ganadería		a				Número de cabezas/año	INEC, 2014. Carvajal, 2020	IMN, 2022.
	Suelos agrícolas			a			Ha suelo cultivado/año	INEC, 2014. ICAFE, 2019	IMN, 2022.
	Residuos sólidos		a				Toneladas de residuos/año	Municipalidad de Heredia	IPCC, 2006.
	Aguas residuales		a				Kg DBO/año	Ministerio de Salud ESPH, 2021	IMN, 2022 y IPCC, 2006.

*Emisión potencial de GEI. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3 (Continuación). Consumo de combustibles por tipo y emisiones de CO_{2eq} (Mg/año) provenientes de las fuentes móviles para el cantón de Heredia, 2021.

Tipo de fuente	Fuente de emisión	GEI asociado					Dato de actividad	Fuente de la información	Fuente del FE asociado
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC-PHC	SF ₆			
Fija	Hornos y calderas	a	a	a			Consumo de combustible/año	Ministerio de Salud	IMN,2022.
Móvil	Transporte terrestre	a	a	a			Consumo de combustible/año	ARESEP, 2021.	IMN,2022.

*Emisión potencial de GEI. Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Consumo Eléctrico

La cuantificación de las emisiones provenientes del consumo eléctrico en el cantón de Heredia corresponde al consumo general, el cual incluye el alumbrado público, consumo comercial, servicios preferenciales y alta media tensión, y al consumo residencial e industrial. En el **Cuadro 4**, se indica los detalles de la estimación de las emisiones.

Cuadro 4. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para la categoría Uso de Energía.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Energía	Uso de electricidad
Descripción		
Fuente de emisión indirecta por consumo de energía eléctrica (Alcance II)		
GEl asociado a la actividad		
CO ₂		
Metodología		
Para obtener las toneladas de CO _{2eq} se realiza la multiplicación del dato de actividad (consumo eléctrico) por el factor de emisión correspondiente a la categoría de Uso de electricidad del IMN y por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente al CO ₂ , expresándolo finalmente como toneladas de CO _{2eq} /año.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> Consumo eléctrico en KWh para el cantón de Heredia en el año 2021 (ARESEP, 2023) 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> 0,0400 kg CO_{2eq}/kWh (IMN,2022). 		
Supuestos u observaciones		
NA		

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones para esta categoría es la siguiente según la IPCC (2006):

$$E = \frac{DA \cdot FE}{1000} \quad (2)$$

Donde:

E= emisiones de Gases Efecto Invernadero (Mg CO_{2eq}/año)

DA = Dato de actividad (kWh/año).

FE = Factor de emisión (kg CO_{2eq}/kWh).

4.1.2. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Uso de Hexafluoruro de Azufre en equipos eléctricos

La ESPH reporta tener en el cantón de Heredia 48 equipos que utilizan hexafluoruro de azufre como aislante. En el **Cuadro 5**, se resumen la metodología utilizada para la estimación. Es importante aclarar que estas emisiones son consideradas como potenciales, es decir no suman en la cuantificación pues la ESPH reporta una nula fuga de SF₆ a la atmósfera.

Cuadro 5. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para los equipos eléctricos que utilizan SF₆.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Manufactura y utilización de otros productos	Uso de SF ₆
Descripción		
Emisiones potenciales de fuga del Hexafluoruro de azufre utilizado en equipos eléctricos como aislante y para interrumpir la corriente (Alcance I).		
GEl asociado a la actividad		
SF ₆		
Metodología		
Para el cálculo de estas emisiones se realiza la multiplicación de los kilogramos fugados de los equipos eléctricos por el Potencial de Calentamiento de Global.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> Contenido de SF₆ (kg) (ESPH, 2023). 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> kg de SF₆ fugados reportados año⁻¹ (ESPH, 2023). 		
Supuestos u observaciones		
<u>Observaciones:</u>		
<ul style="list-style-type: none"> Estas emisiones se consideran emisiones potenciales, pero no se contabilizan dentro del inventario, ya que la ESPH en sus revisiones periódicas no reporta fugas del gas en sus equipos. 		

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación necesaria para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponde a la ecuación 1 del presente documento.

4.1.3 Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Uso de Refrigerantes

Previo a la realización de la estimación de emisiones por uso de refrigerantes en comercios fue necesaria la aplicación de una encuesta a nivel comercial que permitiera conocer el número de equipos en cada dependencia de aires acondicionados, refrigeración y congeladores, así como tipo y la carga de los refrigerantes asociados a estos.

Para esto se plantearon tres etapas:

a) Planeamiento técnico preliminar, grupos de trabajo y logística

Con base en la cantidad de comercios registrados en la oficina de patentes de la Municipalidad y la base de datos de estos provista, se realizó el cálculo estadístico para obtener la cantidad necesaria para una muestra del 3 % de significancia para los establecimientos del cantón. Dicha muestra corresponde a 191 establecimientos de un total de 5 903 establecimientos registrados. Además, las patentes comerciales se clasificaron por distrito en 12 categorías: Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Call Centers (10), Servicios con alimentación y bebida (11), Talleres de enderezado y pintura (12), cuyo propósito es dividir a los comercios en categorías compatibles con usos similares para los refrigerantes.

Los 191 establecimientos se separaron de manera proporcional por distrito y categoría, de manera que se mantenga la representatividad de la muestra con los comportamientos observados en cada distrito del cantón. La selección de los comercios encuestados fue completamente aleatoria y su distribución geográfica se presenta en el **Anexo 10**.

b) Obtención de los datos de campo

Posterior a la clasificación de los comercios y la selección de la muestra, se procedió al levantamiento de información por medio una encuesta aplicada de manera presencial a cada uno de los establecimientos seleccionados (**Anexo 1**). Las encuestas fueron aplicadas

entre los meses de mayo y junio de 2023 con la ayuda de un formulario digital de ArcGIS Survey 123.

c) Preparación de la información en digital

Posterior a la recolección de datos mediante las encuestas, se procede a clasificar y ordenar la información generada. En este caso para los establecimientos que no indican el tipo o cantidad de refrigerante se procedió de la siguiente manera:

- Si un equipo registrado no cuenta con la información de tipo o cantidad de refrigerante, se utiliza la información de otro equipo de la misma marca y modelo, o en ausencia del modelo, el peor escenario de tipo y cantidad de refrigerante para dicha marca.
- Si no se cuenta con la información de la marca o esta es única, se supone para dicho equipo el refrigerante de uso más común para la categoría, así como el peor escenario en cantidad de refrigerante en la categoría por distrito.

Si no se cuenta con información en la categoría dada, se supone el uso del refrigerante más común para el distrito y el peor escenario en cuanto a cantidad de refrigerante para el mismo, y solo si no hubiera información siguiendo este orden se tomaría el peor escenario para el cantón.

Cuadro 6. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para los equipos que utilizan refrigerante.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Procesos industriales y uso de productos	Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono
Descripción		
Fugas de refrigerante en sistemas de aire acondicionado, refrigeración y congelación en el sector comercial de Heredia (Alcance I).		
GEI asociado a la actividad		
HFC-PFC		
Metodología		
La carga de refrigerante en unidades de masa se multiplica por la concentración de cada HFC o PCF asociado a la composición de cada refrigerante. Este es multiplicado por un factor de emisión (fuga) según el equipo, así como por el potencial de calentamiento global correspondiente a cada refrigerante.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> • Carga de refrigerante en cada equipo de aire acondicionado, refrigeración y congelación en unidades de masa (Dato recolectado encuesta en campo, 2023). 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> • Aires acondicionados: 0,1 Kg/año (IPCC, 2006). • Refrigeradoras: 0,35 Kg/año (IPCC, 2006). • Congeladores: 0,15 Kg/año (IPCC, 2006). 		
Supuestos u observaciones		
Observaciones:		
<ul style="list-style-type: none"> • Los refrigerantes están compuestos de mezclas de HFC o PFC. Para conocer la masa total de cada refrigerante en la mezcla, se multiplica la masa por el porcentaje de la composición. Esto se realiza mediante los establecido por el IPCC (2006) en su tabla 7.8 (Anexo 2). • En cuanto al índice de emisión anual asociada a la operación de los sistemas se utiliza la tabla 7.9 del IPCC (2006) (Anexo 3). • Los Potenciales de Calentamiento Global utilizados se encuentran en el Anexo 4. • Se asume que las emisiones de la muestra se comportan de manera similar en el resto del cantón. 		
Supuestos:		
<ul style="list-style-type: none"> • El factor de emisión seleccionado para aires acondicionados corresponde a la categoría de “Aire acondicionado residencial y comercial incluyendo bombas de calor”. Para refrigeradoras el FE correspondiente a “Refrigeración comercial mediana y grande”. En ambos casos se parte del supuesto de que Costa Rica es un país en desarrollo de manera que según las indicaciones de la Tabla 7.9 (IPCC, 2006) indica utilizar el mayor valor del índice. • En cuanto al cálculo para congeladores se utiliza como índice de emisión anual un 15 % según se indica para el método N1 de la IPCC (2006) para congeladores. 		

Fuente: Elaboración propia.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las emisiones debido al uso de refrigerantes se describen a continuación (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006):

- Primero se calcula la masa de cada tipo de refrigerante presente en las mezclas que fuga, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Masa}_{\text{refrigerante}} = \frac{\% \text{ Composición}_{\text{refrigerante}}}{100} \cdot \text{Carga del Refrigerante} \cdot \frac{\text{FE}}{100} \quad (3)$$

Donde:

$\% \text{ Composición}_{\text{refrigerante}}$ = porcentaje de refrigerante en la mezcla (%).

Carga del Refrigerante = masa del refrigerante contenida en el equipo (kg).

FE = factor de emisión anual (% carga inicial/año).

- Luego para el cálculo de las emisiones de GEI se tiene la siguiente ecuación (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006):

$$E = \frac{\text{Masa}_{\text{refrigerante}} \cdot \text{PCG}_{\text{refrigerante}}}{1000} \quad (4)$$

Donde:

E=emisiones de Gases Efecto Invernadero (Mg CO_{2eq})

$\text{Masa}_{\text{refrigerante}}$ = Masa de cada componente de refrigerante emitida (kg).

$\text{PCG}_{\text{refrigerante}}$ = Potencial de calentamiento global asociado a cada tipo de refrigerante.

- Finalmente, con las masas de CO_{2eq} obtenidas para cada categoría en cada distrito y equipo en cuestión se estima la masa para la totalidad del cantón de la siguiente manera:

$$\text{Mg CO}_{2\text{eq}} \text{ al año}_{\text{categoría}} = \frac{\text{Establecimiento que usan refrigerante}_{\text{cantón}} \cdot \text{Mg. CO}_{2\text{eq}} \text{ al año}_{\text{distrito}}}{\text{Establecimiento que usan refrigerante}_{\text{distrito}}} \quad (5)$$

Posteriormente se suman las emisiones estimadas por categoría para cada distrito, así como las emisiones distritales para obtener las cantonales para cada tipo de equipo.

4.1.4. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones en equipos de extinción

La información de esta fuente de emisión fue recolectada en la encuesta que se encuentra en el **Anexo 1**, por lo que también fue utilizada la metodología de selección de muestra descrita en el apartado 5.1.2.

La ecuación necesaria para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponde a la ecuación 1 del presente documento. En el caso de los equipos que contienen halotrón como agente químico el cálculo se realiza utilizando las ecuaciones 3, 4, y 5 del presente documento.

Cuadro 7. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para equipos de extinción del sector comercial del cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Procesos industriales y uso de productos	Productos contra incendios
Descripción		
Emisiones por recarga de extintores que utilizan como agente químico dióxido de carbono en el sector comercial de Heredia (Alcance I).		
GEI asociado a la actividad		
CO ₂ , HCFC-123 (Halotrón)		
Metodología		
Se multiplica el dato de actividad, en este caso la masa contenida en cada unidad de extinción por el Potencial de Calentamiento Global asociado.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> • Carga del extintor en unidades de masa (Dato recolectado encuesta en campo, 2023). 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> • Corresponde a la totalidad de masa contenida en el extintor. 		
Supuestos u observaciones		
<u>Supuestos:</u>		
<ul style="list-style-type: none"> • Se asume que el total del CO₂ contenido en el extintor es liberado a la atmósfera en el año base producto de su recarga. 		

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Transporte No Convencional

El cantón de Heredia cuenta con sistema ferroviario que realizó en el año 2021 aproximadamente 4 974 viajes (INCOFER, 2023). En el **Cuadro 8**, se indica los detalles de la estimación de las emisiones realizadas.

Cuadro 8. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero para el transporte no convencional que transita por el cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Transporte no convencional	Transporte Ferroviario
Descripción		
Transporte ferroviario (Alcance I)		
GEl asociado a la actividad		
CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O		
Metodología		
El dato de actividad (consumo de combustible) es multiplicado por cada factor de emisión asociado a la emisión y por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente. Posteriormente, se realiza la suma de las emisiones aportadas por cada GEI.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> Consumo de combustible del tren para el trayecto que pasa por el cantón Herediano para el año 2021 (INCOFER, 2023). 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> Factor de emisión asociado al CO₂: 2,613 kg CO₂/L diésel (IMN, 2022). Factor de emisión asociado al CH₄: 0,149 g CH₄ / L diésel (IMN, 2022). Factor de emisión asociado al N₂O: 0,154 g N₂O / L diésel (IMN, 2022). 		
Supuestos u observaciones		
Observaciones:		
<ul style="list-style-type: none"> El combustible utilizado por los equipos rodantes del INCOFER corresponde a diésel. El factor de emisión utilizado del manual de IMN (2022) para cada GEI corresponde a la categoría “diésel sin catalizador para transporte terrestre”. Longitud del tramo de vía férrea que solo pasa por el cantón de Heredia, está compuesto por 4,71 kilómetros lineales (INCOFER, 2021). El total de viajes que pasaron por alguna parte del tramo de vía en el cantón de Heredia corresponden 4 974 (INCOFER, 2023). 		

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación necesaria para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponde a la ecuación 1 del presente documento.

4.1.6 Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por uso de combustibles para cocción

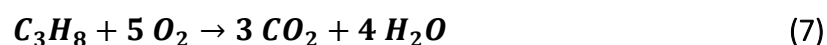
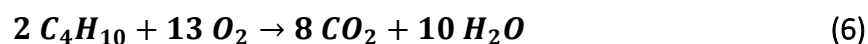
La información de esta fuente de emisión fue recolectada en la encuesta que se encuentra en el **Anexo 1**, por lo que también fue utilizada la metodología de selección de muestra descrita en el apartado 5.1.2. El resumen del método utilizado se detalla en el **Cuadro 9**.

Cuadro 9. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero por uso de combustible para la cocción en el sector comercial del cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Energía	Uso de combustibles para cocción
Descripción		
Uso de combustibles como el GLP y la Leña en el sector comercial (Alcance I).		
GEl asociado a la actividad		
CO ₂		
Metodología		
Las emisiones se determinan a partir del dióxido de carbono liberado al combustionar el GLP. Esto se realiza mediante una relación molar a partir del contenido en butano y propano que componen el GLP. La masa obtenida es multiplicada por el Potencial de Calentamiento Global correspondiente para obtener las Mg de CO _{2eq} .		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> Consumo de combustible al año (Dato recolectado encuesta en campo, 2023). 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> El FE corresponde a la totalidad de consumo del combustible por año. 		
Supuestos u observaciones		
<u>Observación</u>		
<ul style="list-style-type: none"> El contenido en el GLP es de 40% butano y 60% propano. 		
<u>Supuestos:</u>		
<ul style="list-style-type: none"> Se asume que la reacción al quemar el GLP en la cocción es una combustión completa, es decir el 100% del GLP es transformado a CO₂. 		

Fuente: Elaboración propia.

Las reacciones que describen la combustión del Butano y el Propano presente en el GLP son las siguientes:



Derivado de esto primero se debe multiplicar la masa reportada de consumo del GLP para la categoría en particular por el porcentaje que representa el Butano y Propano, en este caso 40% y 60% respectivamente. Esto se realiza de la siguiente manera:

$$M_{\text{Componente}} = M_{\text{Consumo GLP}} \times \frac{\% \text{composición}}{100} \quad (8)$$

Donde:

$M_{\text{componente}}$ = Masa de propano/butano contenida en el GLP.

$M_{\text{Consumo GLP}}$ = Peso en unidades de masa del GLP consumido.

% composición = Porcentaje de cada uno de los componentes.

Para conocer la cantidad de dióxido de carbono que se deriva al combustionar el GLP se establece una relación molar entre el Butano y el Propano, la cual se describe mediante las dos siguientes ecuaciones respectivamente:

$$M_{CO_2} = M_{\text{componente}} \times \left(\frac{1}{MM_{\text{Butano}}} \right) \times 4 \times MM_{CO_2} \quad (9)$$

Donde:

M_{CO_2} = Cantidad de CO_2 liberado a partir de la combustión del butano.

$M_{\text{componente}}$ = Masa del butano contenida en el GLP consumido.

MM_{Butano} = Masa molar del butano.

MM_{CO_2} = Masa molar del dióxido de carbono.

4 = relación molar entre el butano y el dióxido de carbono.

$$M_{CO_2} = M_{\text{componente}} \times \left(\frac{1}{MM_{\text{Propano}}} \right) \times 3 \times MM_{CO_2} \quad (10)$$

Donde:

M_{CO_2} = Cantidad de CO_2 liberado a partir de la combustión del propano.

$M_{\text{componente}}$ = Masa del butano contenida en el GLP consumido.

MM_{Butano} = Masa molar del propano.

MM_{CO_2} = Masa molar del dióxido de carbono.

3 = relación molar entre el butano y el dióxido de carbono.

Posteriormente cada cantidad de dióxido de carbono liberada es sumada y multiplicada por el Potencial de Calentamiento Global respectivo según la ecuación 1 del presente documento.

4.1.7 Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por parte del Sector Agropecuario

Las emisiones del sector agropecuario corresponden a las emisiones generadas por el ganado vacuno, porcino y otros, en la fermentación entérica y gestión del estiércol. Es importante aclarar que según lo indica el IPCC (2006) las emisiones de CO_2 provocadas por el ganado no se debe estimar pues se supone que las emisiones anuales netas de CO_2 equivalen a cero, ya que CO_2 de la fotosíntesis de los vegetales se devuelve a la atmósfera como CO_2 respirado. Una parte del Carbono se devuelve como CH_4 y es por esta razón que el CH_4 requiere consideración aparte.

Además, en esta sección se incluye las emisiones producto de la fertilización con productos nitrogenados en cultivos predominantes en el país. En el **Cuadro 10** se detalla las especificaciones metodológicas de la cuantificación de emisiones.

Cuadro 10. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero del Sector agropecuario del cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Agropecuario	Ganadería/Suelos Agrícolas
Descripción		
La producción de ganado puede traer como resultado emisiones de metano (CH ₄) resultante de la fermentación entérica y emisiones de CH ₄ de los sistemas de gestión del estiércol del ganado (Alcance I).		
En cuanto a los suelos agrícolas se considera el óxido nitroso (NO ₂) liberado por el uso de fertilizantes nitrogenados (Alcance I).		
GEI asociado a la actividad		
CH ₄ , N ₂ O		
Metodología		
Los datos de actividad son multiplicados por el factor de emisión asociado y el Potencial de Calentamiento Global correspondiente.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de cabezas de ganado (vacuno, porcino y otros) en el cantón de Heredia (INEC, 2014). Hectáreas sembradas en el cantón de Heredia (INEC, 2014). 		
Factores de emisión		
Ganadería (IMN, 2022):		Manejo del estiércol (IMN, 2022):
<ul style="list-style-type: none"> • Terneros -Carne: 19,48 kg CH₄ /cabeza año -Leche: 20,00 kg CH₄ /cabeza año -Doble propósito: 16,81 kg CH₄ /cabeza año • Hembras en crecimiento -Carne: 63,61 kg CH₄ /cabeza año -Leche: 48,69 kg CH₄ /cabeza año -Doble propósito: 41,91 kg CH₄ /cabeza año • Machos en crecimiento -Carne: 66,25 kg CH₄ /cabeza año -Doble propósito: 70,16 kg CH₄ /cabeza año • Hembra adulta -Carne: 85,80 kg CH₄ /cabeza año -Leche: 85,00 kg CH₄ /cabeza año -Doble propósito: 85,67 kg CH₄ /cabeza año • Macho adulto -Carne: 111,70 kg CH₄ /cabeza año -Leche: 111,70 kg CH₄ /cabeza año -Doble propósito: 111,70 kg CH₄ /cabeza año • Cabras: 5 kg CH₄ /cabeza año • Caballos: 18 kg CH₄ /cabeza año • Cerdos: 1 kg CH₄ /cabeza año 		<ul style="list-style-type: none"> • Ganado: 1 kg CH₄/cabeza/año • Caballos: 1,64 kg CH₄/cabeza/año • Cabras: 0,17 kg CH₄/cabeza/año • Cerdos: 1 kg CH₄/cabeza/año Aves de corral: 0,02 kg CH₄/cabeza/año
		Suelos agrícolas (IMN, 2022):
		<ul style="list-style-type: none"> • Café: 7,78 kg N₂O/ha/año • Caña de azúcar: 4, 81 kg N₂O/ha/año • Banano: 4,85 kg N₂O/ha/año • Plátano: 4,60 kg N₂O/ha/año • Cebolla: 2,61 kg N₂O/ha/año • Papa: 7,86 kg N₂O/ha/año Pasto Jaragua: 5,33 kg N₂O/ha/año

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10 (Continuación). Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero del Sector agropecuario del cantón de Heredia.

Supuestos u observaciones

Observaciones

- La fuente de información más reciente para estos datos es el VI Censo Nacional Agropecuario (2014).
- Se consulta con la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional sobre el comportamiento de la actividad agrícola y ganadera del cantón para estimar las variaciones de estos datos al año 2021 y se indica que, para el sector ganadero, se mantiene bastante constante mientras que particularmente el café muestra una disminución.
- Se utilizan los datos históricos de área sembrada de café del ICAFE (2021) para el cantón y se ajustan con un modelo lineal con R de 0,98 para estimar el área sembrada en 2021.

Supuestos:

- Con base en la respuesta de la consulta, se asume que las emisiones generadas en el 2014, fecha de donde provienen los datos de actividad, se comportan de manera similar a las emisiones del año base del inventario.
- Se asume que los cultivos de café son con sombra.
- Se asume que los pastizales corresponden a jaragua.

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación necesaria para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponde a la ecuación 1 del presente documento.

4.1.6. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Generación de Residuos Sólidos

Las emisiones de los residuos se calculan a partir de las toneladas reportadas por el relleno Sanitario a la Municipalidad de Heredia para el año base. En el **Cuadro 11**, se resume la estructura metodológica.

Cuadro 11. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero de los residuos sólidos generados en el cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Residuos	Residuos sólidos
Descripción		
Emisiones generadas a partir de los residuos sólidos producidos en el cantón que llegan al relleno sanitario Tecno-ambiente (Alcance III).		
GEI asociado a la actividad		
CH ₄		
Metodología		
<p>Primero se obtiene la clasificación de los residuos generados por medio de la caracterización porcentual.</p> <p>Luego, las emisiones se calculan a partir de la cantidad de Carbono Orgánico Degradable (DOC) presente en cada residuo, el cual es multiplicado por una fracción de CH₄ generada en el relleno sanitario para obtener el potencial de generación de CH₄ correspondiente para cada residuo. Luego se establece una relación molar para determinar las emisiones de CO₂ generadas por la combustión del metano.</p>		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> Megagramos (toneladas) de residuos por año (Municipalidad de Heredia, 2023). 		
Factores de emisión		
<ul style="list-style-type: none"> Corresponde al potencial generación de metano (L₀) determinado para cada residuo (IPCC, 2006). 		
Supuestos u observaciones		
Observaciones:		
<ul style="list-style-type: none"> Para poder obtener los datos por tipo de residuos se tomó la composición porcentual de los residuos del Diagnóstico de la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Cantón de Heredia (CEGESTI, 2013). Como no todos los tipos de residuos del estudio de CEGESTI (2013) se encontraban clasificados según la metodología del IPCC (2006), se utilizó los porcentajes de la composición y caracterización de residuos del Centro de Productividad Nacional realizado en el año 2012 para el cantón de Heredia, con el fin de dividir aquellas categorías en las que no se podían subdividir de manera más específica en el estudio de CEGESTI. El 100% del metano generado producido por la descomposición de los residuos en el relleno sanitario es quemado y convertido de esta manera a CO₂, por lo que el Potencial de Calentamiento Global que se debe utilizar en la ecuación corresponde a 1, siendo esta una relación molar de 1:1 en la combustión. 		
Supuestos:		
<ul style="list-style-type: none"> Se supone un MCF de 0,5 (valor para sistema anaerobio semi-gestionado). Se supone un DOC_r de 0,5 (valor recomendado por el IPCC, 2006). Se supone una F de 0,5, pues según Hyun-Sun Kim & Seung-Muk Yi (2009), el valor predeterminado del IPCC para F es 0,5, con un rango de 0,4 a 0,6 dependiendo de la composición de los residuos, pues la mayoría de los desechos en los vertederos generan gases que contienen aproximadamente un 50% de CH₄. 		

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular las emisiones provenientes del manejo de desechos sólidos la IPCC (2006) propone calcular primero la masa de carbono orgánico degradable disuelto depositado mediante la siguiente ecuación:

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (11)$$

Donde:

W = masa de desechos depositados (ton)

DOC = carbono orgánico degradable durante el año de deposición (fracción)

DOC_f = fracción de DDOC_m que puede descomponerse (fracción)

MCF = fracción de corrección de CH₄ para la descomposición aeróbica durante el año de deposición (fracción)

Luego se realiza el cálculo del potencial de generación de metano con la siguiente ecuación:

$$L_o = DDOC_m \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (12)$$

Donde:

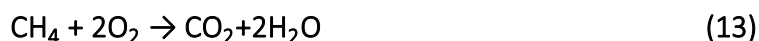
L_o = potencial de generación de CH₄.

DDOC_m = masa del DOC disuelto depositado.

F = fracción de CH₄ en el gas de vertedero generado.

16/12 = cociente de pesos moleculares CH₄/C.

Y finalmente se calculan las emisiones de CO_{2eq} según la relación molar de la siguiente ecuación:



De las ecuaciones anteriores, los datos correspondientes al DOC se toman de la Tabla 2.4 de la IPCC (2006) usando el porcentaje en base seca. La Tabla en cuestión se presenta en el **Anexo 5**. Además, el MCF se toma de la categoría “sitios semi-aeróbicos gestionados de

eliminación de desechos sólidos” de la Tabla 3.1 de la IPCC (2006) la cual se muestra en el **Anexo 6**. Para el cálculo de las emisiones de CO_{2eq} se utiliza la ecuación 1 del presente documento, utilizando la masa de CO₂ obtenida del balance de masa de la ecuación 13.

4.1.7. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones por Generación de Aguas Residuales

Esta sección metodología incluye las cinco plantas de tratamiento con las que cuenta la ESPH (clasificadas como bien gestionadas), la cual cubre una población de 16 893 personas en el cantón de Heredia. Además, a partir de esto se asume que las personas restantes vierten directamente sus aguas residuales a un cuerpo de agua, por lo que se incluye el cálculo de estas emisiones a partir de aproximadamente de 127 753 personas en el cantón.

Por otra parte, se incluyen las aguas residuales de 2 industrias y 108 comerciales ubicados en el cantón. Para esto el Ministerio de Salud facilitó un registro con los entes generadores del cantón y la respectiva caracterización de sus aguas. De esta lista, se seleccionaron los establecimientos cuya clasificación CIU corresponde a aguas de tipo especial de acuerdo con el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (Decreto Ejecutivo Nº 33601, 2007). En el **Cuadro 12**, se encuentra las especificaciones metodológicas consideradas para la cuantificación de las emisiones de esta fuente de generación de GEI.

Cuadro 12. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero de las aguas residuales generados en el cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Área	Residuos	Aguas residuales
Descripción		
Aguas residuales tratadas por la ESPH (Alcance I).		
Aguas residuales vertidas en tanque séptico (Alcance I).		
Aguas industriales (Alcance I).		
Aguas residuales comerciales (Alcance I).		
GEI asociado a la actividad		
CH ₄		
Metodología		
En las aguas residuales domésticas se realiza la multiplicación del dato de actividad por un potencial de producción de metano, un factor de corrección del metano y el PCG correspondiente.		

En las aguas residuales vertidas en tanques sépticos se extrae primero la cantidad de personas que disponen sus aguas de esa manera, esta es multiplicada por un valor de DBO asociado por persona, por un potencial de producción de metano, un factor de corrección del metano y el PCG correspondiente.

En aguas residuales industriales y comerciales, se multiplica el dato de actividad por un factor de emisión asociado a cada actividad y el PCG correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12 (Continuación). Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero de las aguas residuales generados en el cantón de Heredia.

Dato de actividad

- Aguas residuales tratadas por la ESPH: kg de DBO/periodo.
- Aguas residuales vertidas en tanque séptico: 40 g DBO/persona-día (IPCC, 2006) (ver **Anexo 9**).
- Aguas residuales industriales: kg de DBO/periodo.
- Aguas residuales comerciales: kg de DBO/periodo.

Factores de emisión

- Aguas residuales tratadas por la ESPH: Función del potencial máximo de producción de CH₄ (B₀) (**Anexo 7**) y del factor de corrección de CH₄ para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales (**Anexo 8**) (IPCC, 2006).
- Aguas residuales vertidas en tanque séptico: Función del potencial máximo de producción de CH₄ (B₀) (**Anexo 7**) y del factor de corrección de CH₄ para eliminación en tanque séptico (**Anexo 8**) (IPCC, 2006).
- Aguas residuales industriales: 0,2 kg CH₄ /kg DQO.
- Aguas residuales comerciales: 0,2 kg CH₄ /kg DQO.

Supuestos u observaciones

Observaciones:

- El dato de actividad de las plantas de tratamiento tratadas por la ESPH fue brindado por la misma institución, el dato de actividad de la población que vierte en tanque séptico fue calculado a partir del número de personas que no vierten sus aguas en las plantas de la ESPH y los datos de actividad de las aguas residuales industriales y comerciales fue aportando por el Ministerio de Salud.
- Se utiliza el caudal m³/ día para convertir los litros a unidad de masa diaria.
- Todos los datos de actividad son valores anuales dependiendo de la cantidad de días que abarca el reporte.
- Capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) utilizada fue de 0,6 kg de CH₄/ kg de DBO, el cual es un valor por defecto para aguas residuales domésticas (IPCC, 2006).
- Valor de MCF (Factor de corrección del metano) utilizado para sistemas de lodos activados aerobios es de 0. Para sistemas de laguna se utilizó 0,8 para sistemas con más de 2 metros de profundidad (IPCC, 2006).
- Valor de MCF (Factor de corrección del metano) utilizado para eliminación en tanque séptico es de 0,5 (IPCC, 2006).
- Se utiliza la población de Heredia proyectada al año 2021 derivada del Censo 2011 del INEC.

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de las emisiones de GEI de las aguas residuales de las plantas de tratamiento de la ESPH y vertidas a un río se utilizan las siguientes ecuaciones IPCC (2006):

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \text{kg DBO/año} \cdot \text{MCF} \cdot B_0 \quad (14)$$

Donde:

MCF = factor de corrección de metano.

B_0 = capacidad máxima de producción de metano

Y luego se obtiene las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\text{Emisiones de CH}_4 \cdot \text{PCG}}{1000} \quad (15)$$

Donde:

E = emisiones de GEI de las aguas residuales ($\text{Mg CO}_{2\text{eq}}$).

PCG = potencial de calentamiento global del metano.

En el caso del dato de actividad de las aguas residuales vertidas en tanque séptico y posteriormente al alcantarillado público se obtuvo un dato a partir de la DBO per cápita mediante la siguiente ecuación:

$$\text{kg DBO/año} = P \cdot \text{DBO}_{\text{per cápita}} \cdot 0,001 \cdot 365 \quad (16)$$

Donde:

P = número de personas que vierte en el sistema.

4.2. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones de Fuentes Fijas

El cálculo de las emisiones de fuentes fijas se realiza haciendo uso de información provista por el Ministerio de Salud donde se detallan los entes generadores que operan hornos y calderas en el cantón, así como el tipo y consumo anual de combustible de estos. En el **Cuadro 13**, se encuentran las especificaciones del cálculo realizado.

La ecuación necesaria para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponde a la ecuación 1 del presente documento.

Cuadro 13. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero generados por los hornos y calderas en el cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Fijas	Energía	Hornos y calderas
Descripción		
Hornos y calderas localizados en el cantón de Heredia que consumen búnker, diésel y GLP (Alcance I).		
GEI asociado a la actividad		
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		
Metodología		
El dato de actividad que corresponde al consumo anual de combustible de cada horno y caldera se multiplica por su correspondiente factor de emisión y Potencial de Calentamiento Global.		
Dato de actividad		
<ul style="list-style-type: none"> Consumo anual de combustible de calderas y hornos en el cantón de Heredia (Ministerio de Salud, 2023). 		
Factores de emisión		
<u>Búnker</u>		
<ul style="list-style-type: none"> CO₂: 3,101 kg CO₂/ L combustible (IMN, 2022). CH₄: 0,138 g CO₂/ L combustible (IMN, 2012). N₂O: 0,02769 g CO₂/ L combustible (IMN, 2022). 		
<u>Diésel</u>		
<ul style="list-style-type: none"> CO₂: 2,613 kg CO₂/ L combustible (IMN, 2022). CH₄: 0,122 g CO₂/ L combustible (IMN, 2022). N₂O: 0,2442g CO₂/ L combustible (IMN, 2022). 		
<u>GLP</u>		
<ul style="list-style-type: none"> CO₂: 1,611 kg CO₂/ L combustible (IMN, 2022). CH₄: 0,027 g CO₂/ L combustible (IMN, 2022). N₂O: 0,002745 g CO₂/ L combustible (IMN, 2022). 		
Supuestos u observaciones		
<u>Supuestos:</u>		
<ul style="list-style-type: none"> Para aquellos datos reportados en 2017 y 2019 que no se reportaron en 2021 y cuya información no pudo ser facilitada a tiempo por las autoridades para su respectiva verificación e inclusión, se supone que dichos equipos mantienen un consumo igual al reportado en años anteriores, considerando que para muchos de estos el consumo de combustible puede ser un parámetro de fábrica para condiciones de operación fijadas para un proceso determinado. 		

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Metodología de Cálculo para la Estimación de las Emisiones de Fuentes Móviles

En esta categoría se incluyen todos los vehículos terrestres que utilizan diésel, gasolina y gasolina plus para su funcionamiento, así como las emisiones generadas por el transporte no convencional (ferroviario). En el **Cuadro 14**, se encuentran las especificaciones realizadas para la cuantificación.

Cuadro 14. Resumen metodológico de la estimación de las emisiones de Gases Efecto Invernadero generados por las fuentes móviles en el cantón de Heredia.

Tipo de Fuente	Sector	Categoría
Móvil	Transporte	Transporte Terrestre
Descripción		
En esta categoría se incluyen todos los vehículos terrestres que utilizan combustible para su funcionamiento (Alcance I).		
GEl asociado a la actividad		
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O		
Metodología		
El dato de actividad que corresponde al consumo anual de combustible se multiplica por su correspondiente factor de emisión y Potencial de Calentamiento Global.		
Dato de actividad		
• Consumo de combustible/año (Aresep, 2023).		
Factores de emisión		
<u>Diésel</u>		
• CO ₂ : 2,613 kg CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
• CH ₄ : 0,149 g CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
• N ₂ O: 0,154 g CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
<u>Gasolina:</u>		
• CO ₂ : 2,231 kg CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
• CH ₄ : 0,907 g CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
• N ₂ O: 0,283 g CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
<u>Gasolina Súper:</u>		
• CO ₂ : 2,231 kg CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
• CH ₄ : 0,907 g CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
N ₂ O: 0,283 g CO ₂ / L combustible (IMN, 2022).		
Supuestos u observaciones		
NA		

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación necesaria para el cálculo de las emisiones de esta fuente corresponde a la **ecuación 1** del presente documento.

Para el transporte no tradicional se utilizó la información del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) sobre la cantidad de combustible diésel promedio gastado por kilómetro, la longitud de la vía que atraviesa el cantón de Heredia y los viajes realizados en el 2021.

4.4. Metodología para la valoración de la Calidad de los Datos utilizados en la cuantificación de las Emisiones de GEI del cantón de Heredia

Para la estimación de la valoración de la calidad de los datos utilizados se sigue lo indicado en la Metodología para la medición, reporte y verificación de las emisiones, reducciones, remociones y compensaciones de GEI a nivel cantonal para Costa Rica. Este establece la elaboración de un cuadro resumen para cada fuente donde se explica brevemente la metodología utilizada, así como la confiabilidad de los datos en alta, media o baja según los siguientes criterios (**Cuadro 15**):

Cuadro 15. Escala de calificación de la confiabilidad de los datos de la estimación de emisiones.

Clasificación	Fuente de la información
Alta	Fuentes de emisión donde los datos se obtuvieron de forma directa o son estadísticamente representativos.
Media	Fuentes de emisión cuyos datos se obtuvieron de forma estimada, pero bajo supuestos sólidos.
Baja	Fuentes de emisión donde los datos se obtuvieron de estimaciones poco precisas con supuestos inciertos.

Fuente: Elaboración propia basada en PPCN 2.0.



5. Calidad de los datos

La valoración de la calidad de los datos arroja que siete fuentes de emisión son clasificadas con una alta calidad de los datos, pues estas provienen de información recolectada en situ en el cantón por medio de una encuesta y de base de datos de consumos de diferentes instituciones nacionales (**Cuadro 16**). Por otra parte, tres fuentes de emisión son clasificadas como una calidad media, pues los datos provienen de suposiciones de comportamiento similar con respecto a otro año que no corresponde al año base del inventario, y dos fuentes son de calidad baja por provenir de fuentes estimadas con base en datos de otros años, esto por no contar el país con información actualizada de la fuente en el caso del sector Agropecuario, y suposiciones establecidas por el IPPC, como valores por defecto, que si bien representa una fuente de información oficial y confiable, este ente toma valores que no corresponde específicamente a las condiciones propias de Costa Rica.

En esta sección también se aclara que se realizaron los siguientes cambios en la estructura metodológica con el fin de lograr una mejor presión de la cuantificación en comparación con el año anterior, así como algunas subsanaciones a las estimaciones del 2021 con base en los hallazgos que se encontraron durante la elaboración del presente inventario:

- Para la estimación de los refrigerantes y combustibles para cocción se realizó una sumatoria de los aportes por categoría para obtener las emisiones distritales, así como una sumatoria de estas últimas para el total cantonal.
- Para las emisiones del sector agropecuario, se utilizaron los datos históricos del ICAFE (2021) en el cantón de Heredia para estimar el área sembrada al año 2021.
- Para las emisiones provenientes de la gestión de residuos sólidos, se cambió el valor supuesto de la fracción de metano generada, por una referencia que justifica suponer un valor distinto al utilizado anteriormente y que además se ajusta mejor a las características de un relleno sanitario y las recomendaciones de la IPCC.
- Para las emisiones provenientes de las aguas residuales, se utiliza un valor de MCF correspondiente a tanque séptico, ya que este supuesto se ajusta mejor a la realidad cantonal y nacional, además se subsana el valor de población atendida por la ESPH en el año 2021.

Cuadro 16. Confiabilidad de los datos utilizados para la cuantificación de emisiones de Gases Efecto invernadero en el cantón de Heredia.

Tipo de fuente	Fuente de emisión	Alcance	Método de cálculo utilizado	Descripción del método	Referencias	Calidad de la información asociado
Área	Consumo eléctrico	2	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: ARESEP, 2023. Factor de emisión: IMN, 2022.	Alta
	Uso de Hexafluoruro de Azufre en equipos eléctricos	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: ESPH, 2023. Factor de emisión: IMN, 2022.	Alta
	Uso de refrigerantes	1	IPCC, 2006.	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: Recolección de la información a partir de una encuesta aplicada al sector comercio. Factor de emisión: IPCC, 2006.	Alta
	Extintores de CO ₂	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: Recolección de la información a partir de una encuesta aplicada al sector comercio. Factor de emisión: Se asume que todo el contenido del extintor es expulsado a la atmósfera.	Alta

Abreviaturas: DA: dato de actividad, FE: factor de emisión, PGC: potencial de calentamiento global.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16 (Continuación). Confiabilidad de los datos utilizados para la cuantificación de emisiones de Gases Efecto invernadero en el cantón de Heredia.

Tipo de fuente	Fuente de emisión	Alcance	Método de cálculo utilizado	Descripción del método	Referencias	Calidad de la información asociado
Área	Transporte no convencional	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: INCOFER, 2023. Factor de emisión: IMN, 2022.	Alta
	Uso de combustibles de cocción	1	Balance de masas	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: Recolección de la información a partir de una encuesta aplicada al sector comercio. Factor de emisión: Se asume que el 100% se combustiona a CO_2 .	Alta
	Ganadería	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: INEC, 2014. Factor de emisión: IMN, 2022.	Baja
	Suelos agrícolas	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: INEC, 2014. Factor de emisión: IMN, 2022.	Baja

Abreviaturas: DA: dato de actividad, FE: factor de emisión, PGC: potencial de calentamiento global.

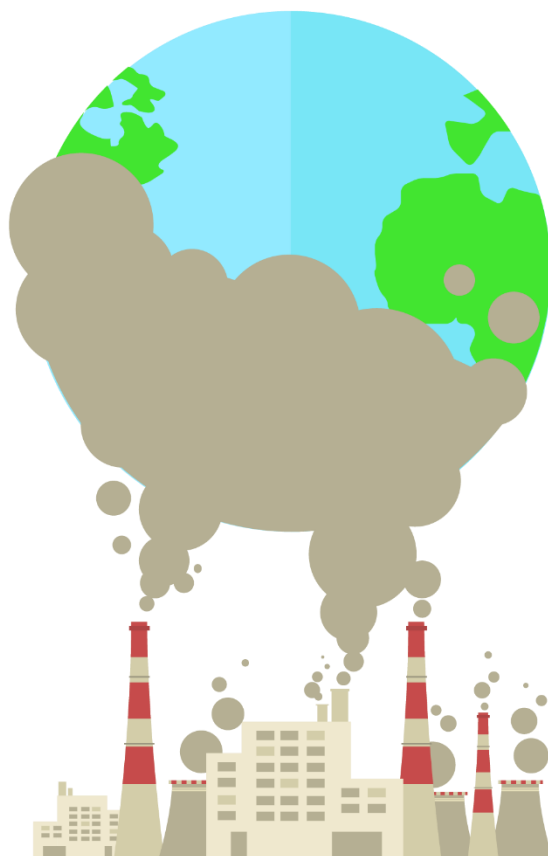
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16 (Continuación). Confiabilidad de los datos utilizados para la cuantificación de emisiones de Gases Efecto invernadero en el cantón de Heredia.

Tipo de fuente	Fuente de emisión	Alcance	Método de cálculo utilizado	Descripción del método	Referencias	Calidad de la información asociado
Área	Residuos sólidos	3	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: Municipalidad de Heredia, 2023. Factor de emisión: IPCC, 2006.	Media
	Aguas residuales	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: Ministerio de Salud, 2023. Factor de emisión: IMN, 2022 y IPCC, 2006.	Media
Fija	Hornos y calderas	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: Ministerio de Salud, 2023. Factor de emisión: IMN, 2022.	Media
Móviles	Transporte terrestre	1	PPCN 2.0	$\text{TonCO}_2 = \text{DA} \times \text{FE} \times \text{PCG}$	Dato de actividad: ARESEP, 2023. Factor de emisión: IMN, 2022.	Alta

Abreviaturas: DA: dato de actividad, FE: factor de emisión, PCG: potencial de calentamiento global.

Fuente: Elaboración propia.



6. Resultados de emisiones

6.1 Emisiones Totales de CO₂ Equivalente para el Cantón de Heredia

En las siguientes secciones se detallarán las emisiones para cada una de las fuentes y sus correspondientes categorías en específico. Para cada una se explicará el origen de las fuentes, su posible impacto sobre el ambiente, las particularidades a considerar en cada categoría, así como los resultados de las emisiones de dióxido de carbono equivalente correspondientes con sus respectivos desgloses cuando resulte necesario.

Se presenta en primera instancia los resultados de las emisiones totales de dióxido de carbono equivalente para el cantón de Heredia, las cuales corresponden a la sumatoria de cada uno de los aportes de todas las categorías y fuentes analizadas. Esto con el propósito de que el lector pueda observar los resultados globales para el cantón y de ser necesario se pueda referir a las fuentes y categorías específicas de su interés en las subsecuentes secciones de este capítulo.

Las emisiones totales del cantón de Heredia para el 2021 fueron de 355 930,73 Mg de CO_{2eq} de las cuales 82 832,08 Mg fueron por fuentes de área, 104 408,30 Mg de fuentes fijas y 163 930,73 Mg por fuentes móviles (**Cuadro 17**). Resulta evidente que cerca de la mitad de las emisiones fueron producto de la quema de combustibles de la flota vehicular que incluye a los automóviles, autobuses y motocicletas. Esta actividad es la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica y el mundo por lo que generar estrategias de mitigación en esta área debería de ser prioritario. Algunas alternativas para reducir estas emisiones a nivel de cantón se relacionan con el fomento el uso de vehículos eléctricos y de combustibles alternativos, mejorar la eficiencia del combustible de los vehículos convencionales, incentivar el transporte público, la movilidad compartida y el uso de bicicletas, implementar regulaciones más estrictas para reducir las emisiones de vehículos, fomentar prácticas de conducción más eficientes y la inversión en infraestructuras sostenibles y el desarrollo de tecnologías más limpias.

Cuadro 17. Resumen de las emisiones totales de CO_{2eq} por categoría de emisión para el cantón de Heredia, 2021.

Tipo de fuente	Emisión Mg CO _{2eq}
FUENTES DE ÁREA	88 232,08
Consumo Eléctrico	19 621,39
Residencial	5 516,70
Industrial	2 256,72
General	11 847,97
Uso de Refrigerantes	41 114,40
Aires Acondicionados	36 888,51
Refrigeración comercial	3 674,04
Congelamiento	383,85
Extintores	168,00
Transporte No Convencional	186,07
Ferroviario	75,41
Combustibles para Cocción	1 059,83
Sector agropecuario	5 487,45
Ganado Vacuno	3 131,41
Otros Tipos de Ganado	100,67
Gestión de Estiércol	71,84
Uso de Suelo por Cultivos	2 183,53
Manejo de Desechos Sólidos	7 450,61
Aguas Residuales	13 312,33
Residenciales	11 908,48
Industriales	48,05
Comerciales	1 355,79
FUENTES FIJAS	104 408,30
FUENTES MÓVILES	163 290,36
Total	355 930,73

Fuente: Elaboración propia.

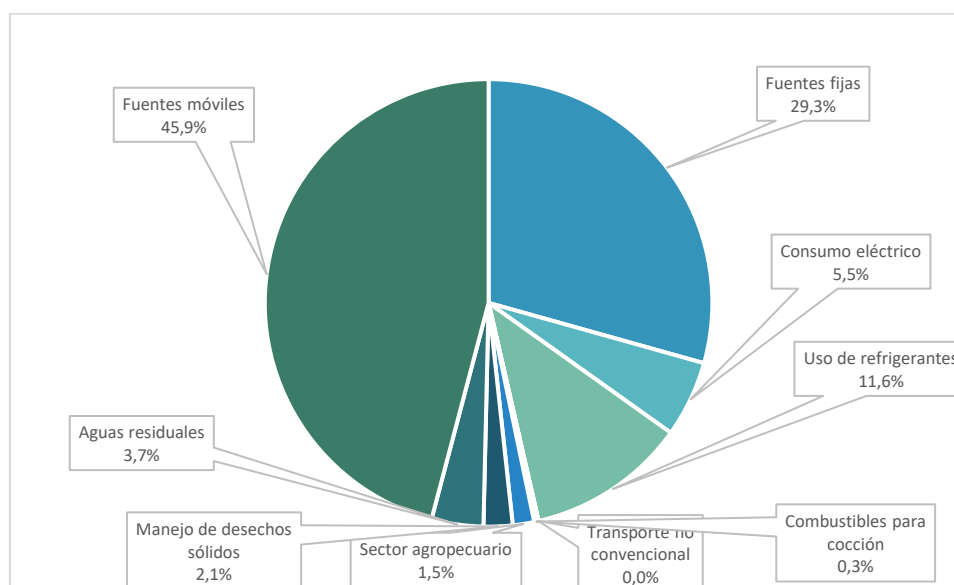
En términos relativos las emisiones por fuentes móviles representaron el 45,9 % del total de emisiones mientras que las fuentes fijas y las de área representaron el 29,3 24,8 % respectivamente (**Cuadro 18**). Dentro de las categorías de fuentes de áreas la mayoría de las emisiones son originadas por el uso de refrigerantes en los distintos locales ubicados en el cantón de Heredia. La principal categoría de emisión de esta fuente son las zonas francas ubicadas y los locales de alimentos y bebidas. Otras

categorías con porcentajes altos de emisión en las fuentes de áreas fueron el consumo el eléctrico y las emisiones generadas por las aguas residuales (**Figura 4**).

Cuadro 18. Resumen de las emisiones totales de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) por fuente y categoría de emisión con sus respectivos pesos porcentuales para el cantón de Heredia, 2021.

Fuente y categoría de emisión	Emisión de CO _{2eq} (Mg)	Porcentaje (%)
FUENTES DE ÁREA	88 121,41	24,8%
Consumo Eléctrico	19 621,39	5,5%
Uso de Refrigerantes	41 114,40	11,6%
Transporte No Convencional	75,41	0,0%
Uso de Combustibles para Cocción	1 059,83	0,3%
Sector Agropecuario	5 487,45	1,5%
Generación de Desechos sólidos	7 450,61	2,1%
Generación de Aguas Residuales	13 312,33	3,7%
FUENTES FIJAS	104 408,30	29,3%
FUENTES MÓVILES	163 290,36	45,9%
TOTAL	355 820,07	100,0%

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Distribución porcentual de las emisiones totales por fuente y categoría de emisión para el cantón de Heredia, 2021.

6.2 Emisiones de GEI generadas por Fuentes de Área

El total de emisiones por fuente de área fue de 88 121,41 Mg de CO_{2eq}. Este total de mega gramos se distribuyen por consumo eléctrico, uso de refrigerantes, transporte no convencional, uso de combustibles para cocción, sector agropecuario, generación de desechos sólidos y aguas residuales. Los resultados para cada una de estas categorías se desglosan a continuación y se muestran en forma de gráficas y cuadros, producto del análisis de los datos obtenidos de las distintas actividades realizadas por los residentes, comercios y zonas industriales del cantón de Heredia.

6.2.1 Emisiones por Consumo Eléctrico

El servicio eléctrico en el cantón de Heredia es provisto en su mayoría por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), la cual se encarga de distribuir electricidad a los pobladores industria y comercio de la mayor parte del cantón, así como alumbrado público. Sin embargo, algunos distritos como San Francisco y Ulloa también reciben servicio eléctrico de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y en el caso del distrito de Vara Blanca, el proveedor eléctrico es el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Las emisiones generadas por el consumo eléctrico para el cantón alcanzaron un valor de 19 621,4 Mg de CO_{2eq} siendo la categoría general (alumbrado público, preferencial, comercios, alta y media tensión) la que emite el 60 % (11 847,97 Mg de CO_{2eq}) del total de emisiones mientras que el sector residencial e industrial generaron el 28 % (5 516,70 Mg de CO_{2eq}) y 12 % (2 256,20 Mg de CO_{2eq}) respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el mayor aporte proviene de la categoría general que incluye al sector comercial, alumbrado público, servicios preferenciales y mediana y alta tensión. Esto es consistente, ya que dicha categoría engloba varios sectores, particularmente el comercial, el cual según los registros municipales suma 5 903 patentes y representa una de las principales actividades del

cantón, la cual requiere de un consumo eléctrico importante para poder ofrecer los servicios a los consumidores. El segundo sector que más aporta es el residencial, el cual presenta consumos promedios mensuales de 137 917 465 kWh que en emisiones de CO₂ equivalente por mes corresponde a 5 516,70 Mg de CO_{2eq} tal como se mencionó anteriormente. Tras el sector comercial, el residencial es uno de los más numerosos del cantón, por lo que no es extraño que también represente una de las subcategorías de emisión de mayor peso.

Finalmente, el sector que menos aporte tuvo durante el año 2021 corresponde al industrial, el cual, si bien por la naturaleza de sus actividades suele tener consumos eléctricos importantes, y tener una presencia marcada en distritos como Ulloa donde se concentran la mayoría de las zonas francas e industriales, es también uno de los sectores de menor tamaño en comparación con los otros dos. Cabe resaltar que, aunque es la categoría que generó menos emisiones, esta solo se halla ligeramente por debajo de la residencial, que es mucho más numerosa, resaltando el elevado consumo que algunos procesos industriales pueden tener.

4.2.1.1 Emisiones por Consumo Eléctrico del Sector Residencial

La emisión total generada en el año 2021 para el sector residencial en el cantón de Heredia fue de 5 516,7 Mg CO_{2eq}, con un promedio mensual de emisión de 459,72 Mg CO_{2eq} (**Cuadro 19**). Los meses de mayor emisión son mayo, junio y setiembre mientras que los de menor emisión son febrero, marzo y abril (**Figura 5**). Los distritos de Heredia y San Francisco son los que representan el mayor porcentaje de emisión por consumo eléctrico con promedios mensuales de 144,57 y 114,89 Mg CO_{2eq}, respectivamente para esta categoría (**Figura 6**).

Estas emisiones son producto del uso del encendido de las luces, cocinas eléctricas, ventiladores, termoduchas, uso de electrodomésticos, entre otros que suelen ser comunes en las casas de habitación, tanto la ESPH como la CNFL y el ICE deben satisfacer la demanda generada por los usuarios, y una parte importante de la electricidad que satisface esta demanda (74 %) es de origen hidroeléctrico es decir se

origina en un embalse. El 26 % restante proviene de otras fuentes como geotérmica, eólica, solar, biomásica y en menor medida termoeléctrica (Centro Nacional de Control de Energía, 2019).

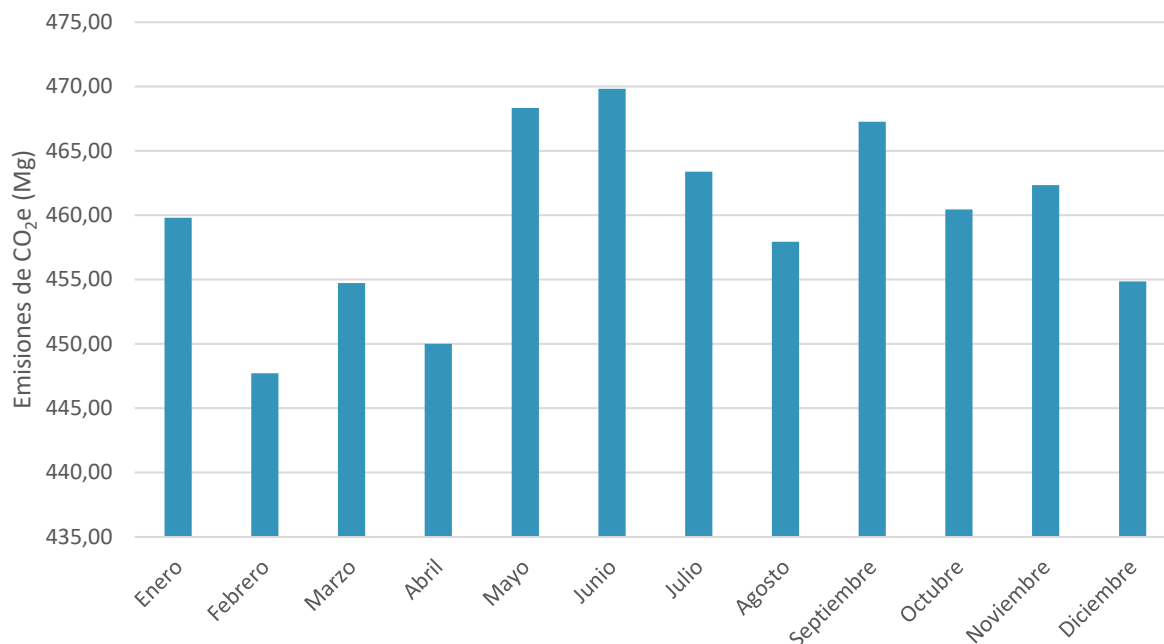
Si bien la mayor parte de la generación eléctrica que satisface la demanda proviene de fuentes renovables, las cuales suelen tener un menor impacto, no están completamente exentas de emisiones. La fuente hidroeléctrica, por ejemplo, que es la más importante y utilizada por las tres compañías, proviene de embalses, los cuales de acuerdo con diversas investigaciones emiten gas metano y dióxido de carbono producto de los procesos de descomposición de la materia orgánica que se encuentra en el lecho de estos, así como la introducida al cuerpo de agua por los ríos que los alimentan (Herrera, Rojas, Rodríguez, Rojas, & Beita, 2013).

Cuadro 19. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) generadas por el consumo de electricidad del sector residencial del cantón de Heredia segregado por distritos para el año 2021.

Mes	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)					Total
	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	
Enero	146,05	90,69	114,58	106,05	2,42	459,80
Febrero	140,66	89,94	112,34	102,40	2,39	447,73
Marzo	143,06	90,68	115,21	103,60	2,17	454,73
Abril	140,69	89,12	112,00	105,65	2,54	450,01
Mayo	146,33	93,52	117,69	108,38	2,42	468,35
Junio	148,29	93,60	118,00	107,48	2,45	469,82
Julio	145,46	90,44	114,76	110,32	2,41	463,39
Agosto	144,16	92,07	114,36	104,91	2,44	457,94
Septiembre	146,55	92,39	115,77	110,10	2,47	467,28
Octubre	144,78	91,08	115,03	107,15	2,41	460,45
Noviembre	145,02	92,66	115,84	106,35	2,49	462,35
Diciembre	143,86	91,26	113,08	104,17	2,49	454,86
Total	1 734,90	1 097,46	1 378,67	1 276,57	29,10	5 516,70

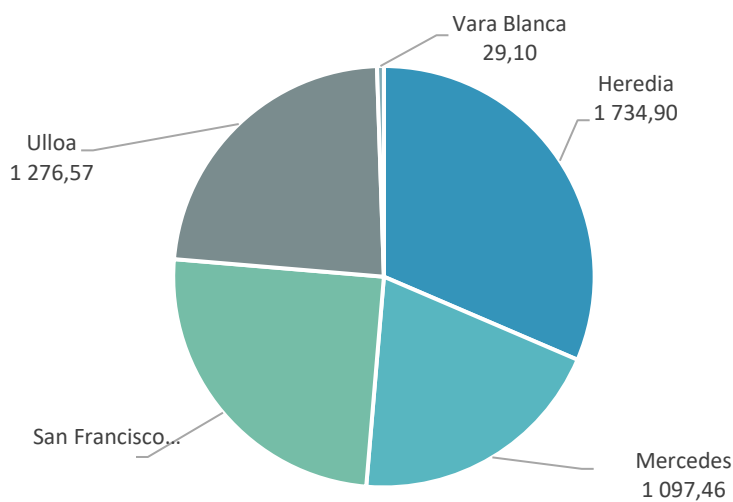
*El total anual está expresado en unidades de Mg

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico residencial del cantón de Heredia por mes durante el año 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico residencial del cantón de Heredia por distrito durante el año 2021.

4.2.1.2. Emisiones por Consumo Eléctrico del Sector Industrial

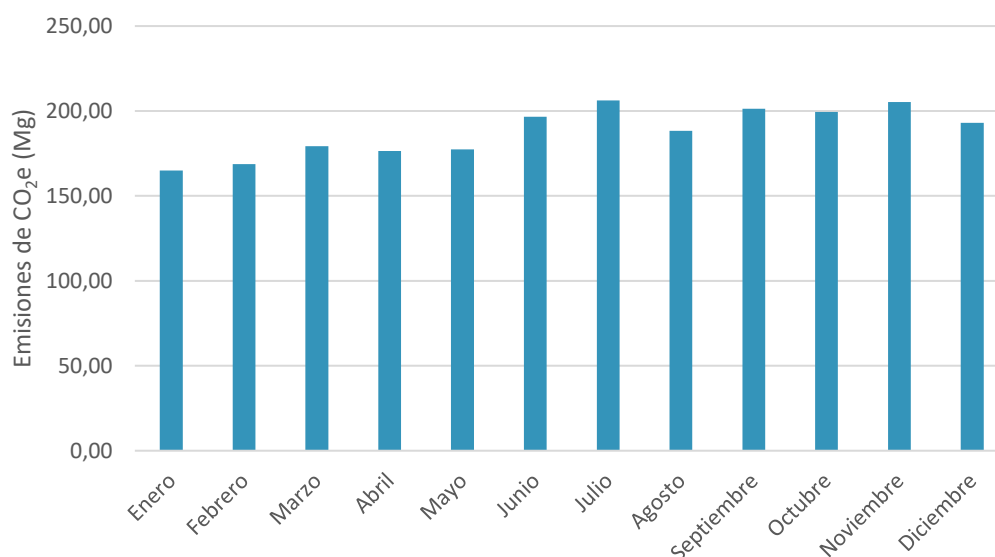
El total de emisiones generadas por el sector industrial en el cantón de Heredia para el 2021 fueron de 2 256,72 Mg de CO_{2eq} las cuales disminuyeron en un 74 % con respecto a las emisiones del 2019 (3 916,54 Mg de CO_{2eq}) (**Cuadro 20**). Esta reducción en las emisiones se debe principalmente al efecto de la pandemia del COVID-2019 que afectó la actividad industrial que genera normalmente un alto consumo eléctrico debido a la naturaleza de sus actividades. Las emisiones por mes no presentan muchas diferencias en sus valores, aunque en julio y noviembre se observan mayores emisiones mientras que en los meses de enero y febrero las emisiones fueron menores (**Figura 7**). La mayoría de las emisiones por consumo eléctrico industrial se concentran en el distrito de Ulloa con valores de 1 520,32 Mg de CO_{2eq} que representan el 67,4 % del total de emisiones del cantón. Los distritos que menor emisión son Mercedes y Vara Blanca (**Figura 8**).

Cuadro 20. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) generadas por el consumo de electricidad del sector industrial del cantón de Heredia segregado por distritos para el año 2021.

Mes/Distrito	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)					Total
	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	
Enero	22,68	2,48	25,71	112,01	2,13	165,01
Febrero	24,39	2,42	29,66	110,21	2,02	168,70
Marzo	28,42	2,57	30,50	115,85	1,86	179,19
Abril	27,10	2,32	28,36	116,30	2,31	176,40
Mayo	24,86	2,60	30,01	117,63	2,21	177,30
Junio	28,88	2,53	29,38	133,46	2,35	196,60
Julio	28,56	2,49	28,96	143,90	2,39	206,30
Agosto	28,85	2,37	27,28	127,43	2,37	188,31
Septiembre	29,32	2,52	33,05	134,00	2,35	201,23
Octubre	29,82	2,48	29,77	135,49	1,84	199,41
Noviembre	29,81	2,51	29,40	141,61	1,88	205,21
Diciembre	28,02	2,38	28,65	132,42	1,58	193,06
Total	330,71	29,66	350,73	1 520,32	25,31	2 256,72

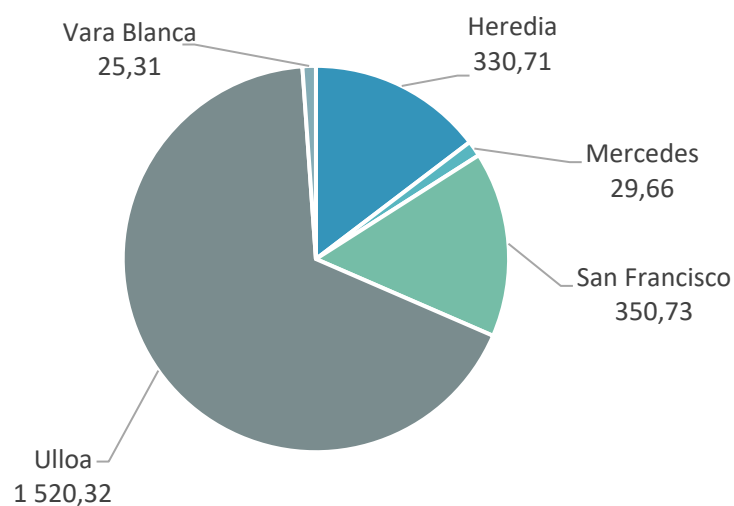
*El total anual está expresado en unidades de Mg

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico industrial del cantón de Heredia por mes durante el año 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) correspondientes al consumo eléctrico Industrial del cantón de Heredia por distrito durante el año 2021.

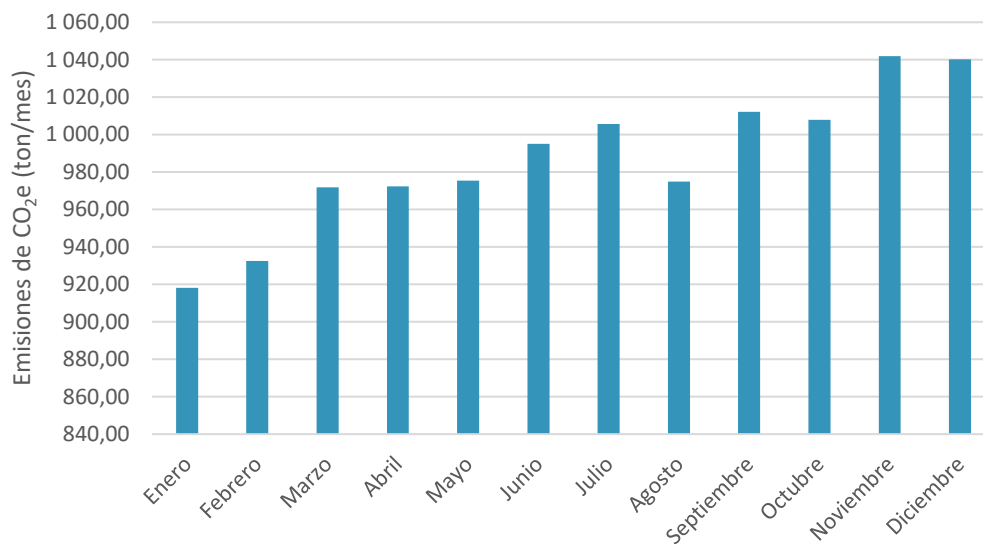
4.2.1.3. Emisiones por Consumo Eléctrico en la Categoría General (Comercio, Alumbrado Público, Servicios Preferenciales y Mediana y Alta Tensión)

Las emisiones generadas para la categoría de general fueron de 11 847,97 Mg de CO_{2eq} lo que implica un aumento del 13 % con respecto a los generados en 2019 (**Cuadro 21**). Los meses con mayor emisión fueron noviembre y diciembre con emisiones totales superiores a los 1 000 Mg de CO_{2eq} mientras que los meses con menor emisión fueron enero y febrero con un promedio de emisión de 925 Mg de CO_{2eq} (**Figura 9**). El distrito de Ulloa representa el 63,8 % del total de emisiones mientras que el distrito de Heredia representa el 23,1 %, lo cual coincide con lo registrado en el inventario anterior (**Figura 10**). Esto se debe a que en estos dos distritos se hallan las estaciones de distribución de alta y mediana tensión que como se mencionó al inicio que representan un consumo importante que eleva las emisiones para sus correspondientes distritos.

Cuadro 21. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) generadas por el consumo de electricidad de la categoría general para el cantón de Heredia segregado por distritos para el año 2021.

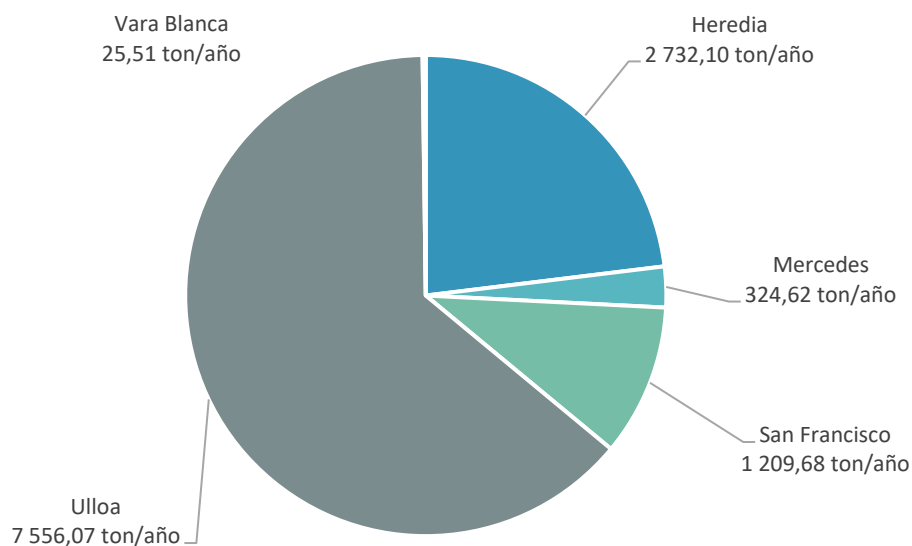
Mes/Distrito	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)					Total
	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	
Enero	212,91	22,88	102,70	577,66	2,01	918,16
Febrero	217,25	23,38	95,49	594,45	1,94	932,50
Marzo	236,96	24,45	97,12	611,55	1,73	971,80
Abril	224,72	23,07	94,05	628,39	2,06	972,28
Mayo	230,22	24,97	100,05	618,20	1,90	975,34
Junio	227,49	24,70	96,82	643,98	2,12	995,11
Julio	228,85	24,43	99,53	650,64	2,19	1 005,64
Agosto	220,41	25,37	101,27	625,49	2,34	974,88
Septiembre	232,52	26,05	105,49	645,74	2,34	1 012,13
Octubre	233,30	35,00	106,74	630,70	2,17	1 007,92
Noviembre	236,08	35,07	103,72	664,76	2,33	1 041,95
Diciembre	231,41	35,24	106,72	664,50	2,38	1 040,25
Total	2 732,10	324,62	1 209,68	7 556,07	25,51	11 847,97

*El total anual está expresado en unidades de Mg
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Emisiones de CO_{2eq} (Mg/mes) correspondientes al consumo eléctrico de la categoría general del cantón de Heredia por mes durante el año 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Emisiones de CO_{2eq} (Mg) correspondientes al consumo eléctrico de la categoría general del cantón de Heredia por distrito durante el año 2021.

Un aspecto importante que se debe resaltar es que estas emisiones son más elevadas que las anteriores, debido a que la categoría aglomera varias fuentes en una sola, lo que se traduce en un mayor consumo total por mes y en consecuencia en una mayor emisión.

4.2.1.4. Uso de Hexafluoruro de Azufre (SF₆) en Equipos Eléctricos

El hexafluoruro de azufre (SF₆) es el gas de efecto invernadero con mayor potencial de calentamiento global que se registra en la IPCC (23 900). Sin embargo, a pesar de esta condición, es ampliamente utilizado en el sector eléctrico debido a su alta constante dieléctrica, convirtiéndolo en un excelente gas aislante y de extinción de arco eléctrico (Flores, Delgado, & Romero, 2012). Para el cantón de Heredia, la ESPH cuenta con algunos equipos que utilizan el SF₆ como medio aislante, los cuales son monitoreados y revisados periódicamente para asegurarse de que no presenten fugas.

De acuerdo con el inventario de emisiones de la ESPH para el año 2021, entre todos los equipos eléctricos que utilizan este gas como aislante en el cantón se suma un total de 286,45 kg de hexafluoruro de azufre almacenado. Esto equivale a 6 846,25 Mg CO_{2eq}. Sin embargo, al igual que en 2019 la ESPH no reporta fugas de los equipos en su inventario para dicho año, y además estos datos ya están contabilizados en el inventario de la ESPH por lo que para efectos del presente inventario de emisiones este valor no se contabiliza, sino que solo se señala el potencial de emisión que existe dentro del cantón, lo que significa que si existiesen fugas estas se encontrarían contabilizadas dentro del valor indicado anteriormente.

6.2.2 Emisiones por Uso de Refrigerantes

El total de emisiones generadas por el uso de refrigerantes en los locales ubicados en el cantón de Heredia fueron de 41 114,40 Mg de CO_{2eq} siendo los aires acondicionados en zonas francas los principales responsables por estas emisiones. Los refrigerantes son sustancias capaces de actuar como agentes de enfriamiento, absorbiendo fácilmente el calor de un medio y cediéndolo a otro, por lo que son ampliamente utilizados en los sistemas de refrigeración por compresión mecánica, donde dicho

fluido refrigerante absorbe calor de la fuente fría evaporándose a baja temperatura y presión para luego liberarlo en la fuente caliente condensándose a alta temperatura y presión (Plazas, 2012).

Las sustancias refrigerantes sin embargo suelen presentar una serie de inconvenientes, que varían dependiendo de la naturaleza del refrigerante en cuestión. De manera general, algunos refrigerantes presentan propiedades agotadoras de la capa de ozono, así como potenciales de calentamiento global de moderados a altos (Ministerio de Ambiente y Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014b). Esto aunado a la tendencia de fuga que suelen tener los gases, hace que el monitoreo del uso de estas sustancias y su contabilización en los inventarios de gases de efecto invernadero sea de vital importancia para determinar el aporte que estos generan dentro de las distintas categorías de emisión y poder orientar mejor las estrategias para su reducción.

En Costa Rica, los refrigerantes categorizados como clorofluorocarbonos (CFC) están prohibidos según lo estipulado en el Protocolo de Montreal, debido a su alto efecto de agotamiento de la capa de ozono. Otros refrigerantes como los hidroclorofluorocarbónos (HCFC), se siguen utilizando, pero cada vez de manera más regulada y restringida, ya que el Protocolo de Montreal, en la enmienda de Beijing de 1999, introduce nuevas medidas de control para estos refrigerantes, motivo por el cual el país cuenta con un plan en marcha para su prohibición en el año 2030 (Ministerio de Ambiente y Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014).

Otras alternativas de refrigerantes que se usan ampliamente debido a que no afectan a la capa de ozono son los hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC), los cuales no están regulados por el Protocolo de Montreal. Estos, sin embargo, pueden presentar potenciales de calentamiento global elevados, por lo que siempre deben ser considerados en los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero y su uso

y disposición debe ser monitoreado (Ministerio de Ambiente y Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014).

Debido a las razones antes expuestas, otras alternativas más amigables con el ambiente han ido surgiendo. Tal es el caso de los refrigerantes naturales como el amoníaco para refrigeración industrial, dióxido de carbono (R744) e hidrocarburos como el isobutano (R600a), los cuales no dañan la capa de ozono y poseen bajos potenciales de calentamiento global (Urrego, 2018).

Para contabilizar el uso de los refrigerantes a nivel comercial en el cantón de Heredia, se realizó una encuesta a los comercios registrados en la oficina de patentes de la Municipalidad, en la cual se registró la tenencia de aires acondicionados, refrigeradoras y cámaras frías, congeladores y extintores, incluyendo el tipo y cantidad de refrigerante utilizado con el propósito de estimar las emisiones por el uso de estas sustancias.

Los comercios fueron divididos en 12 categorías: Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12). El propósito de esto es dividir a los comercios en categorías compatibles con usos similares para los refrigerantes y en donde se pueda determinar con mayor precisión cuáles sectores comerciales generan un mayor impacto de emisión.

Para la selección de la muestra se tomó un 3 % de la población total de patentes activas registradas ante la Municipalidad de Heredia, que corresponde a 177 establecimientos de los 5 892 registrados. Además, se realizó una distribución porcentual por distritos y categoría comercial, de manera que se mantuviera la representatividad de la muestra al hacer las estimaciones poblacionales, considerando las características propias de cada distrito. Al finalizar del proceso de encuestas se contabilizó un total de 203 establecimientos muestreados que representan un 3,4 %

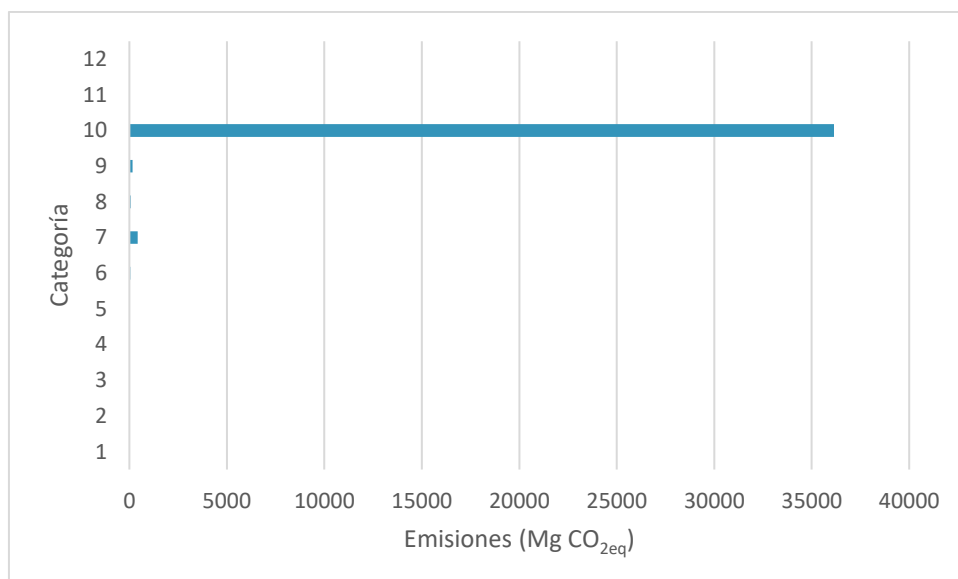
del total de establecimientos registrados y que se apegan a la distribución distrital y categórica definida por los datos poblacionales.

4.2.2.1. Emisiones por Uso de Sistemas de Aires Acondicionados

Los aires acondicionados se usan para generar un ambiente con temperatura óptima, principalmente en lugares donde la temperatura exterior suele ser elevada, donde se conglomeran personas en lugares cerrados por tiempos prolongados como oficinas con el propósito de generar un ambiente más agradable o en lugares donde hay gran cantidad de equipos electrónicos que requieren de un control de la temperatura para su adecuado funcionamiento.

Las emisiones totales de dióxido de carbono equivalente para el 2021 por el uso de aires acondicionados fue de 36 888,51 Mg siendo los principales emisores las zonas francas con cerca del 98,12 % del total de emisiones correspondientes a 36 143,63 Mg CO_{2eq} (**Figura 11 y 12**). Este aporte de las zonas francas a las emisiones se ve reflejado a nivel de distritos en donde San Francisco es el que aporta la mayoría de las emisiones debido a que en este se ubican 36 zonas francas (**Cuadro 22**). Este resultado concuerda con lo esperado ya que en las zonas francas se agrupan varios edificios administrativos de gran tamaño que requieren del uso de sistemas de aire acondicionado de gran capacidad para cubrir las necesidades de todo el inmueble. En muchas zonas francas, se utilizan equipos y sistemas informáticos sofisticados. El aire acondicionado ayuda a mantener estos equipos en funcionamiento eficiente al evitar el sobrecalentamiento y el deterioro causado por las altas temperaturas. El resto de distritos muestra muy bajas emisiones con respecto al distrito de San Francisco siendo Heredia el causante de 560,65 Mg CO_{2eq}. En vara Blanca no se registraron emisiones por el uso de aires acondicionados.

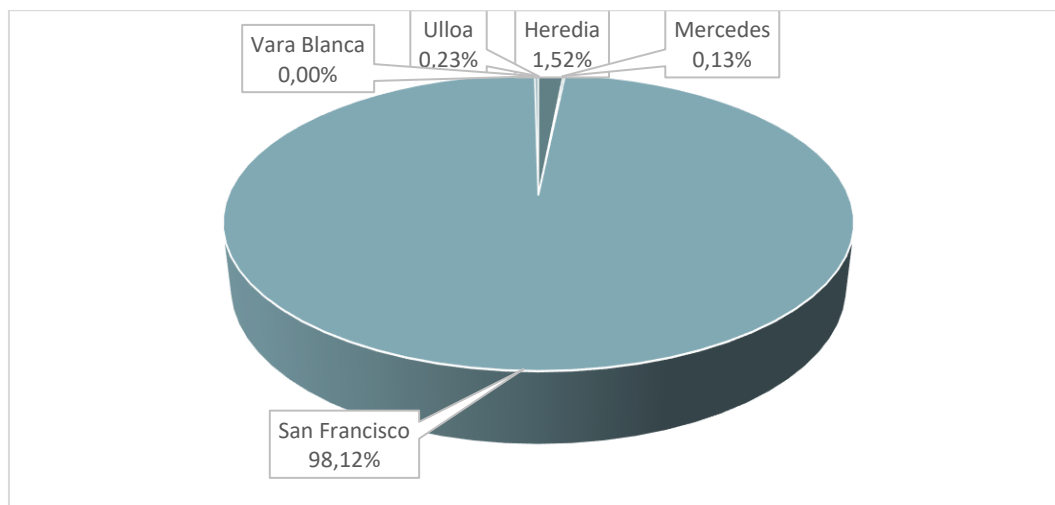
Las otras categorías en las que se encontraron emisiones por aires acondicionados fueron los laboratorios, alimentación y bebidas, servicios, salud y otros.



Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Distribución de las emisiones de CO_{2eq} por categoría debido al uso de aire acondicionado para el cantón de Heredia, 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de refrigerantes para aires acondicionados, 2021.

Cuadro 22. Emisiones totales de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) para los equipos de aire acondicionado por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.

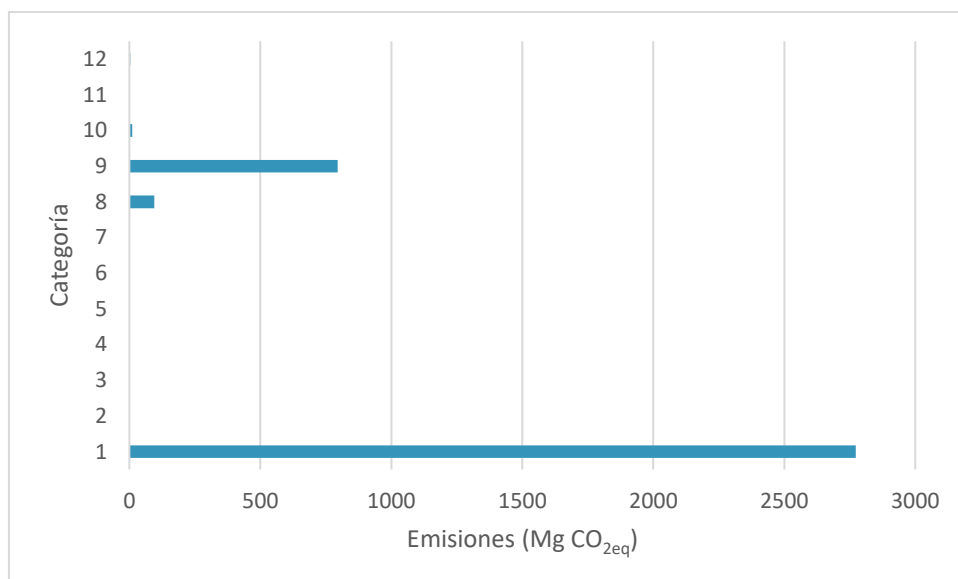
Categorías	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	Total
1	21,26	3,16	0,00	0,00	0,00	24,42
2	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,54
3	0,00	5,62	0,00	0,00	0,00	5,62
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	47,60	0,00	0,00	0,00	0,00	47,60
7	424,14	0,00	0,00	0,00	0,00	424,14
8	55,78	0,00	7,80	0,00	0,00	63,59
9	11,87	37,40	44,79	72,39	0,00	166,45
10	0,00	0,00	36143,63	0,00	0,00	36143,63
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	12,53	0,00	12,53
Total	560,65	46,18	36196,77	84,92	0,00	36888,51
Porcentaje	1,52%	0,13%	98,12%	0,23%	0,00%	100%

Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Emisiones por Uso de Sistemas de Refrigeración Comercial

Las emisiones totales por el uso de cámaras de refrigeración en el cantón de Heredia fueron para el 2021 de 3 681,23 Mg de CO_{2eq} siendo la mayoría de las emisiones originadas en la categoría de patentes relacionadas con alimentos y bebidas (**Figura 13**). Lo anterior es esperable ya que los establecimientos que se dedican a dicha actividad comercial requieren almacenar los alimentos muchas veces en frío para prevenir que estos se descompongan. Otras categorías con una emisión importante fueron los servicios y las patentes relacionadas con el sector salud.



Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Distribución de las emisiones de CO_{2eq} por categoría debido al uso de sistemas de refrigeración comercial para el cantón de Heredia, 2021.

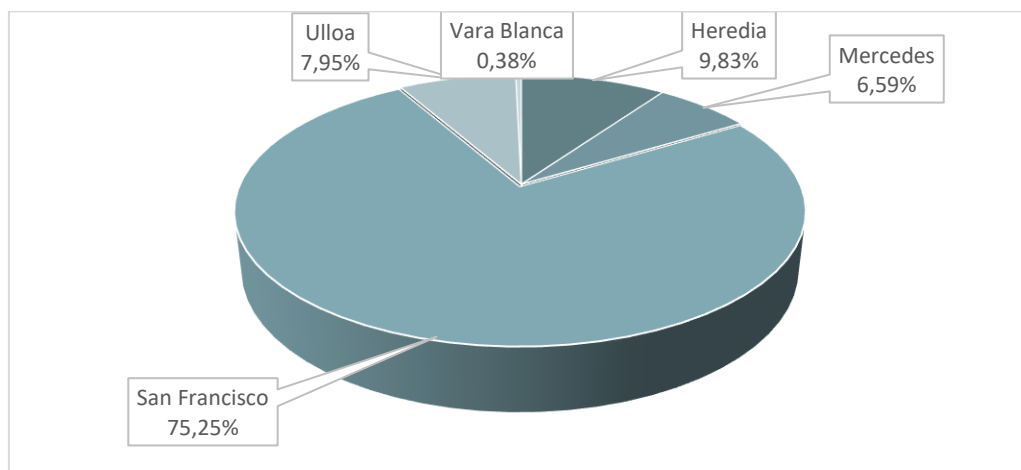
A nivel distrital el 75 % de las emisiones fueron en San Francisco con una emisión de total de 2 770,06 por el uso de refrigeradores. En Heredia se emitieron el 9,8 % mientras que en Ulloa fue de 7,9 %; los distritos de menor emisión fueron Mercedes con un 6,5 % y vara Blanca con un 0,4 % (**Cuadro 23 y Figura 14**). Cabe resaltar que en San Francisco la cantidad de patentes de alimentos y bebidas es menor a la de Heredia, sin embargo, el uso de cámaras de gran tamaño y con más de 25 kg de refrigerante tipo R404a en San Francisco genera mayores emisiones de CO_{2eq}.

Cuadro 23. Emisiones totales de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) para los sistemas de refrigeración comercial por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.

Categorías	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	Total
1	258,63	205,79	2183,58	110,34	14,05	2772,39
2	0,00	0,00	0,24	0,43	0,00	0,66
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
7	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54
8	14,09	7,92	1,44	72,18	0,00	95,64
9	82,86	28,84	573,79	109,16	0,00	794,65
10	0,00	0,00	11,01	0,00	0,00	11,01
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	3,43	0,00	0,00	0,50	0,00	3,93
Total	361,96	242,55	2770,06	292,61	14,05	3681,23
Porcentaje	9,83%	6,59%	75,25%	7,95%	0,38%	100%

Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

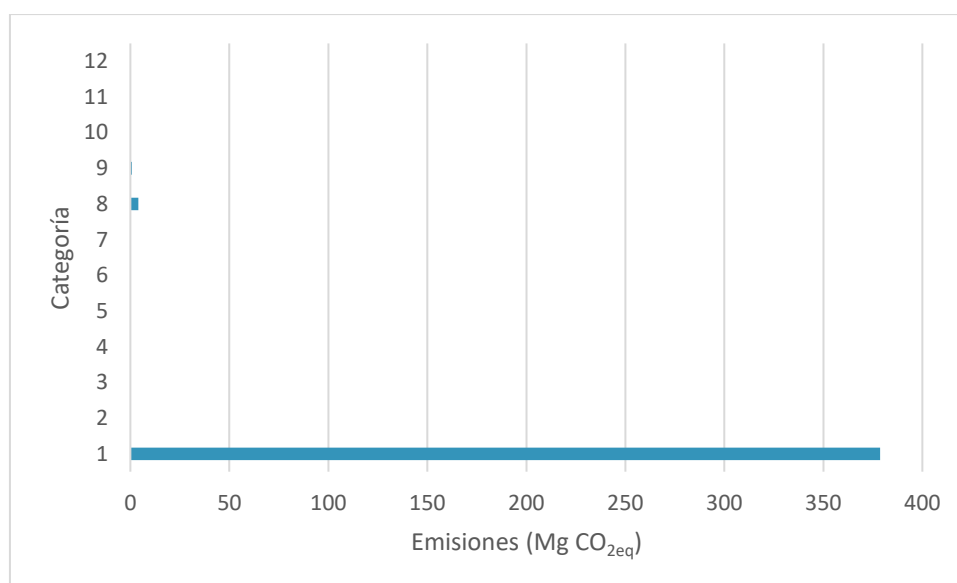


Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de sistemas de refrigeración comercial, 2021.

4.2.2.3 Emisiones por Uso de Sistemas de Congelamiento Comercial

En el caso de las emisiones por el uso de sistemas de congelamiento se registró para el 2021 un total de 383,85 Mg CO_{2eq} que nuevamente son principalmente producto de las patentes de categoría de alimentos y bebidas (**Figura 16**). Estas emisiones son menores a las generadas por las cámaras de refrigeración debido a que hay un menor número de establecimientos que cuentan con congeladores.



Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Distribución de las emisiones de CO_{2eq} por categoría debido al uso de sistemas de congelamiento para el cantón de Heredia, 2021.

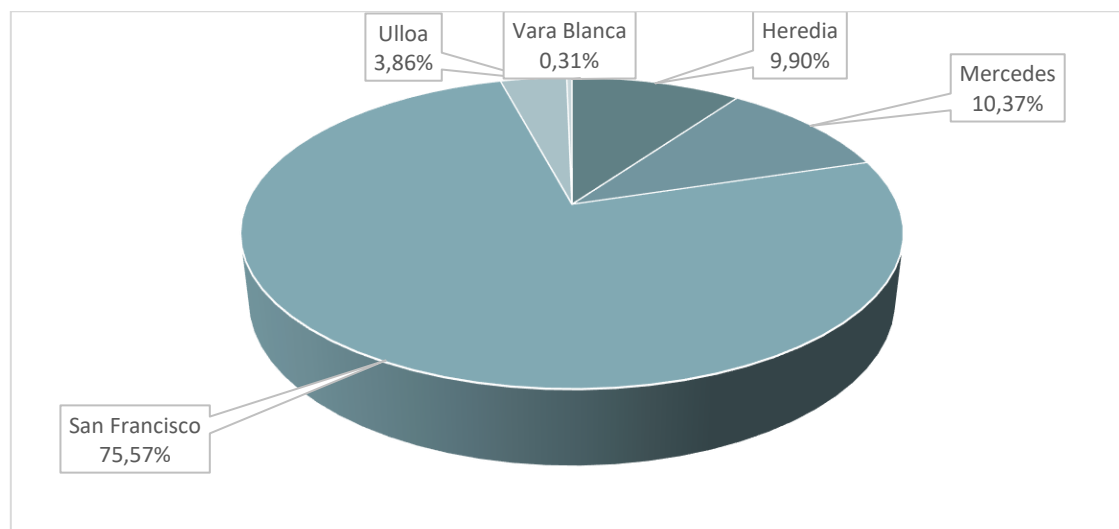
La mayoría de las emisiones se originaron en San Francisco con un total de 290,06 Mg de CO_{2eq} (75 %) seguido por Mercedes con 39,79 Mg de CO_{2eq}, Heredia con 38,00 Mg de CO_{2eq}. Los distritos de menor emisión por el uso de congeladores fueron Ulloa con tan solo un 3,8 % y Vara Blanca con un 0,31 % (**Cuadro 24 y Figura 17**). Si bien la mayoría de las emisiones se registró en los establecimientos de alimentos y bebidas también hubo un aporte de las patentes del sector salud.

Cuadro 24. Emisiones totales de CO_{2eq} (Mg) para los sistemas de congelamiento por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.

Categorías	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	Total
1	37,72	39,00	289,56	11,28	1,04	378,60
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
8	0,00	0,00	0,46	3,55	0,00	4,01
9	0,00	0,78	0,04	0,00	0,00	0,83
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	38,00	39,79	290,06	14,83	1,18	383,85
Porcentaje	9,90%	10,37%	75,57%	3,86%	0,31%	100%

Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.



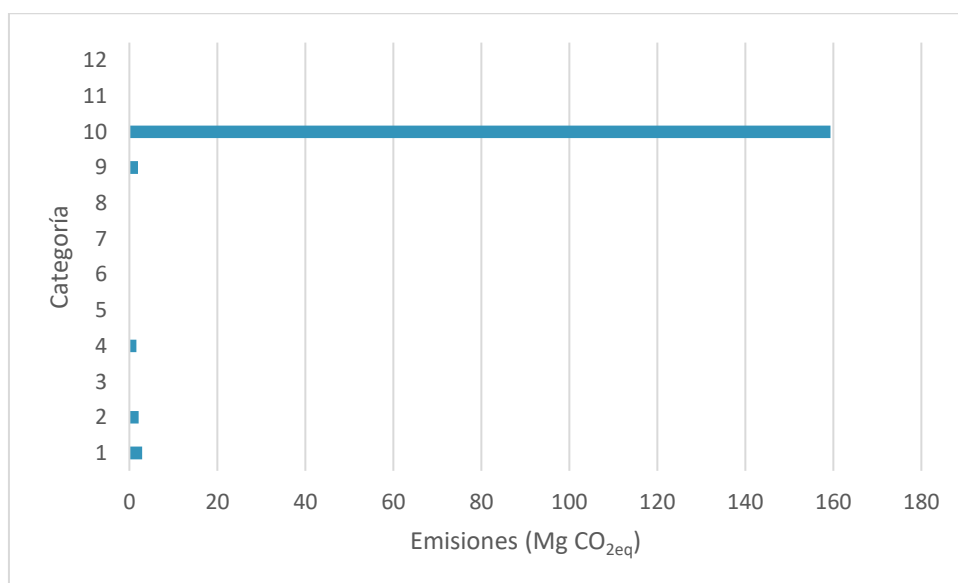
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de sistemas congelamiento, 2021.

4.2.2.4. Emisiones por Uso de Extintores

El Ministerio de Salud exige a los comercios que posean al menos un extintor en su establecimiento, con el propósito de cumplir con las medidas básicas de prevención en caso de conato de incendio. El proceso de recarga de un extintor requiere que el mismo sea vaciado completamente para posteriormente rellenarse con el agente correspondiente, por lo que cuando el agente extintor corresponde a un gas de efecto invernadero, esta emisión debe contabilizarse. Aunque muchos de los establecimientos cuentan con extintores, para efectos de la contabilización en el inventario solo se toman en consideración aquellos cuyo agente extintor es dióxido de carbono.

De ellos el total de emisiones durante el 2021 por la descarga de los extintores fue de 168 Mg de CO_{2eq}. De este total, un 95 % fue en zonas francas y el restante 5 % fue distribuido entre locales de alimentos y bebidas, de servicios varios y en centros de combustibles y lubricantes (**Figura 18**).



Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Distribución de las emisiones de CO_{2eq} por categoría debido al uso y tenencia de extintores para el cantón de Heredia, 2021.

Al igual que en las categorías de refrigerantes mencionados anteriormente, la mayoría de las emisiones fueron en San Francisco abarcando el 97,3 % del total emitido. Ulloa fue el segundo distrito con mayor emisión mientras que Vara Blanca fue el de menor emisión (**Cuadro 25**).

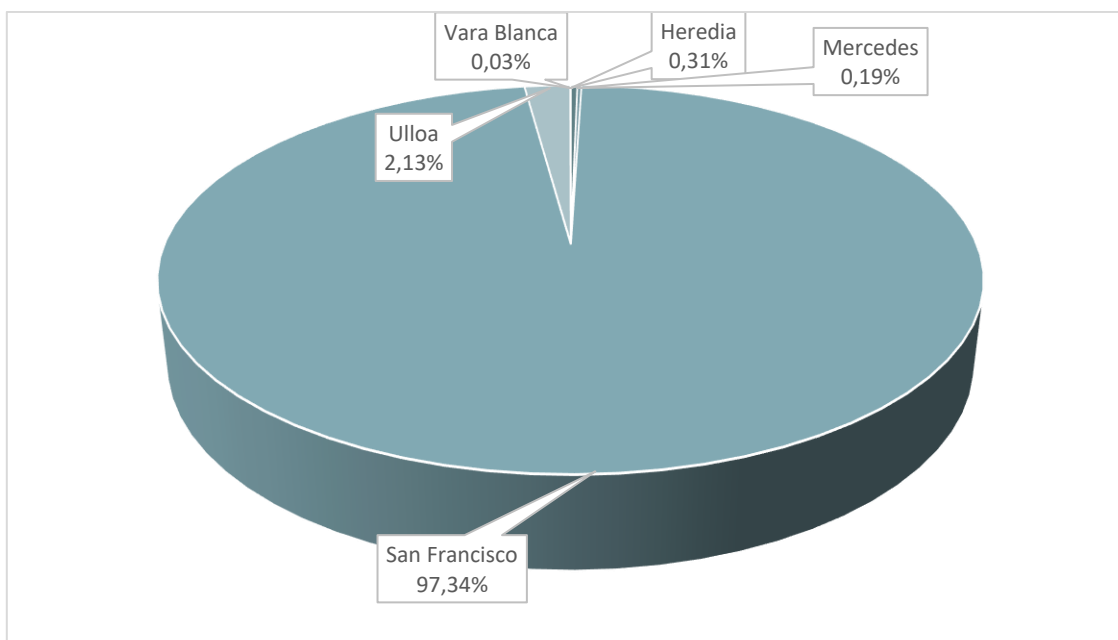
Cuadro 25. Emisiones totales de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) por el uso y tenencia de extintores según distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.

Categorías	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	Total
1	0,44	0,25	2,24	0,00	0,00	2,92
2	0,06	0,00	0,04	1,58	0,00	2,11
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	1,58
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,08	1,89	0,00	0,00	1,97
10	0,00	0,00	159,37	0,00	0,00	159,37
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,51	0,32	163,54	2,00	0,05	168,00
Porcentaje	0,31%	0,19%	97,34%	2,13%	0,03%	100%

Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

Esto es consistente ya que los inmuebles que se hallan las zonas francas y que suelen albergar tanto actividades administrativas como industriales, corresponden a edificios de gran tamaño, en los cuales labora una gran cantidad de personas y por ende tienen un mayor requerimiento de extintores para cubrir de manera adecuada los riesgos en caso de incendios. También se puede ver que las categorías de alimentación y bebida, así como la de servicios presentan un aporte importante después de las zonas francas. Esto también es de esperar ya que los establecimientos de alimentación y bebida donde hay cocción de alimentos, como restaurantes, tienen un mayor riesgo de incendio y por ende suelen tener más de un extintor, mientras que los establecimientos de servicios suelen cumplir con tener al menos un extintor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de extintores, 2021.

4.2.2.5 Resumen de las Emisiones por Uso de Refrigerantes

El total de emisiones de dióxido de carbono equivalente por el uso de refrigerantes en el cantón de Heredia durante el 2021 fue 41 114,4 Mg (**Cuadro 26**). De este total de emisiones el 90 % fueron producto del uso de los aires acondicionados (principalmente en zonas francas) mientras que un 9 % fue debido al uso de cámaras de refrigeración (principalmente en locales de alimentos y bebidas).

La mayoría de las emisiones fueron originas en el distrito de Francisco con un total de 39 420,44 Mg de CO_{2eq} que representan el 96 % del total de emisiones. En Heredia se generaron el 2,3 % de las emisiones mientras que en Ulloa y Mercedes se generaron el 1 y 0,8 % respectivamente. Vara Blanca registró el menor aporte de emisiones durante el 2021 por el uso de refrigerantes con un total de 8,09 Mg de CO_{2eq}.

La principal categoría de fuente de emisiones fueron las zonas francas con un 88 % que corresponden a 36 314 Mg de CO_{2eq} del total de emisiones seguidas por la categoría de alimentos y bebidas con un 8 % (**Cuadro 27**).

Cuadro 26. Emisiones totales de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) por fuente para cada distrito y totales para el cantón de Heredia, 2021.

Distrito	Aires Acondicionados	Refrigeración	Congelamiento	Extintores	Total
Heredia	560,65	361,96	38,00	0,51	961,12
Mercedes	46,18	242,55	39,79	0,32	328,83
San Francisco	36 196,77	2770,06	290,06	163,54	39 420,44
Ulloa	84,92	292,61	14,83	3,58	395,93
Vara Blanca	0,00	6,87	1,18	0,05	8,09
Cantón de Heredia	36 888,51	3 674,04	383,85	168,00	41 114,41

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27. Emisiones totales de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) por categoría para cada distrito y totales para el cantón de Heredia, 2021.

Categoría	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	Cantón
1	318,1	248,2	2 475,4	121,6	6,0	3 169,3
2	0,1	0,0	0,8	2,4	0,0	3,3
3	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	5,6
4	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,6
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	48,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0
7	427,0	0,0	0,0	0,0	0,0	427,0
8	69,9	7,9	9,7	75,7	0,0	163,2
9	94,7	67,1	620,5	181,6	0,0	963,9
10	0,0	0,0	36 314,0	0,0	0,0	36 314,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0
12	3,4	0,0	0,0	13,0	0,0	16,5

Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Emisiones por Uso de Combustibles para Cocción Comercial

Para la cocción de alimentos el uso de electricidad representa una de las formas más eficientes debido a que genera menos residuos y emisiones, sin embargo, la energía eléctrica es más costosa en comparación con otras alternativas, lo cual es determinante, principalmente en comercios como restaurantes, donde la cocción es una actividad fundamental, a la hora de escoger entre cocinas eléctricas o de otros tipos.

Una de las alternativas más comunes es el uso del gas licuado de petróleo (GLP) el cual es una mezcla condensable de hidrocarburos provenientes del proceso de refinación del petróleo o del procesamiento del gas natural y cuya composición mayoritaria corresponde a fracciones de butano (40 %) y propano (60 %) (Refinadora Costarricense de Petróleo, 2020).

Para determinar las emisiones debido al uso de combustibles para cocción en el cantón de Heredia, en la encuesta utilizada para recopilar la información sobre el uso de refrigerantes se adicionó una pregunta sobre el uso y cantidad de combustibles para cocción en los distintos establecimientos comerciales. Los establecimientos encuestados son los mismos de la muestra de la encuesta de refrigerantes y siguen la misma clasificación categórica y distribución distrital.

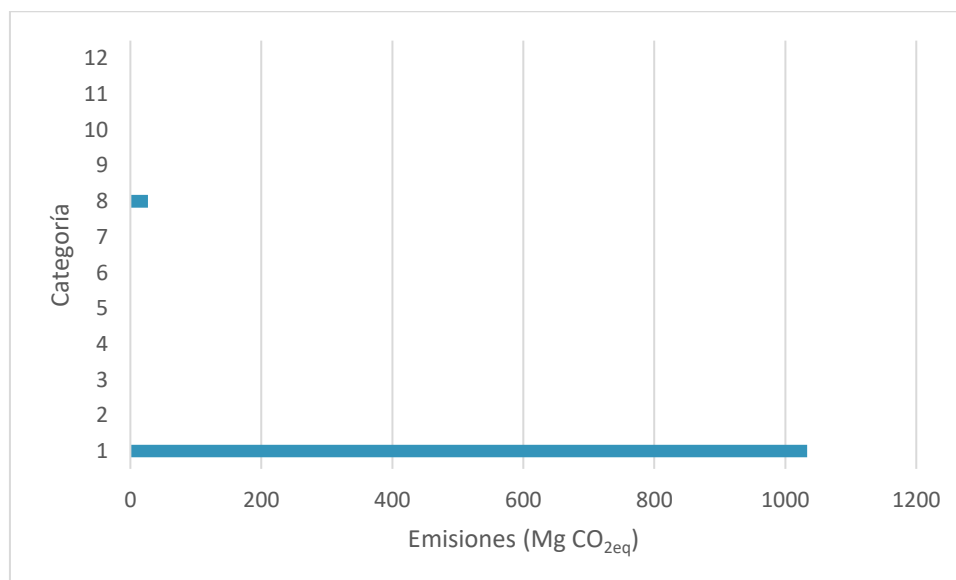
De esta manera, el **Cuadro 28** muestra las emisiones de dióxido de carbono equivalente debido al uso de combustibles para cocción por distrito y categoría para el cantón de Heredia, mientras que la **Figura 19** muestra la distribución categórica de las emisiones.

Cuadro 28. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) debido al uso de combustibles para cocción por distrito y categoría para el cantón de Heredia, 2021.

Categorías	Heredia	Mercedes	San Francisco	Ulloa	Vara Blanca	Total
1	87,80	85,73	573,13	272,53	14,05	1033,25
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	26,58	0,00	26,58
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	87,80	85,73	573,13	299,11	14,05	1059,83
Porcentaje	8,28%	8,09%	54,08%	28,22%	1,33%	100%

Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.



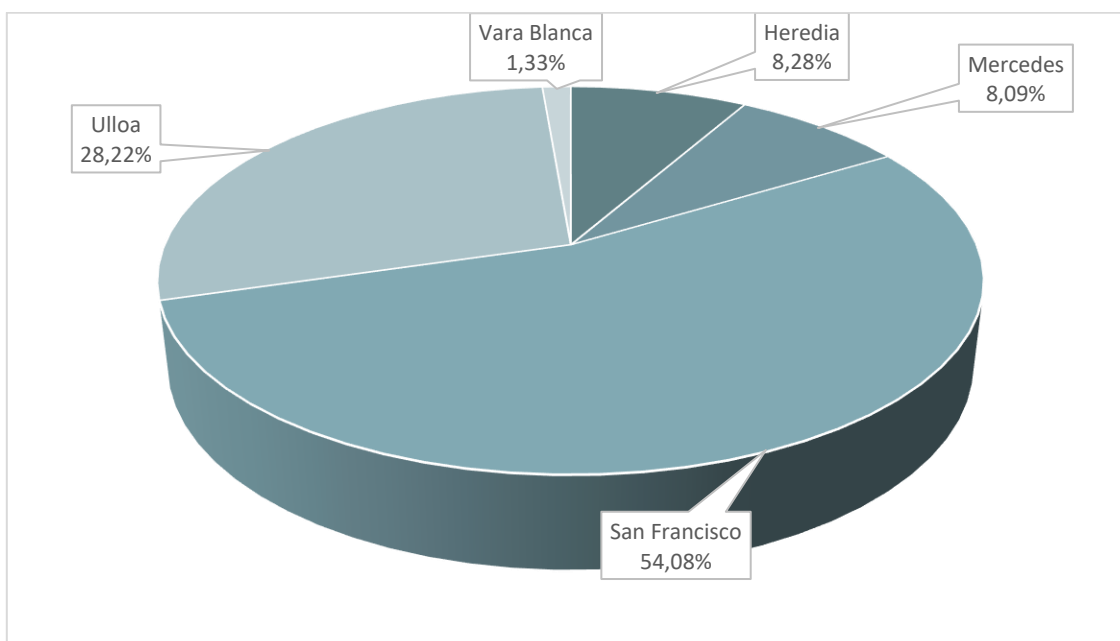
Nota: Las categorías corresponden a Alimentos y bebidas (1), Combustibles y lubricantes (2), Educación (3), Electrónicos (4), Industria (5), Laboratorios (6), Otros (7), Salud (8), Servicios (9), Zonas Francas (10), Servicios con alimentación y bebida (11) y Talleres de enderezado y pintura (12)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de sistemas de cocción, 2021.

Del **Cuadro 28** y **Figura 19** se aprecia que la categoría de alimentación y bebida corresponde a la que aporta mayores emisiones en el cantón por uso de combustibles para cocción con 1 033,25 Mg CO_{2eq}. Este resultado es esperable, pues es común que los establecimientos comerciales de esta categoría como restaurantes que se dedican a la preparación y venta de alimentos utilicen gas para cocinar debido al alto volumen de cocción que pueden llegar a tener.

Los distritos con la mayor emisión por quema de combustibles de cocción fueron San Francisco y Ulloa con un 54 y 28 % del total de emisiones respectivamente. Este comportamiento se debe principalmente a la alta densidad poblacional y a la presencia de zonas francas en estos distritos. Los demás distritos tuvieron un aporte de emisiones menores siendo vara Blanca el de menor emisión abarcando un 1,33 % (**Figura 20**).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por distrito para el cantón de Heredia por el uso de combustibles para cocción, 2021.

6.2.4 Emisiones por parte del Sector Agropecuario

Este sector engloba las actividades agrícolas y ganaderas. En ambos tipos de actividades se presentan emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de distintas fuentes según el tipo de actividad agropecuaria en cuestión.

Esta categoría presenta una limitante que es importante señalar y corresponde a que la única fuente de datos sobre la cantidad de cabezas de ganado y hectáreas sembradas de cultivo segregada con el suficiente detalle para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero para el cantón de Heredia corresponde a la proveniente del VI Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014), misma fuente que se utilizó para el inventario anterior.

Aunque el INEC realiza anualmente una Encuesta Nacional Agropecuaria, esta tiene un alcance nacional, sin segregación cantonal y cuya extensión de información es inferior a la del Censo para algunas de las categorías de ganado y cultivo, lo que imposibilita utilizarlas para estimar las emisiones.

Ante esta circunstancia se realizó una consulta técnica a la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional con el propósito de constatar la existencia de otras fuentes de información o bien determinar mediante el criterio técnico de los expertos consultados, cuál es la tenencia del comportamiento del sector ganadero y agrícola en el cantón. De esta manera se indicó a través de la consulta que la tendencia para el sector ganadero es a permanecer relativamente constante en el tiempo, sin embargo, en la parte agrícola, en el café sí se ha observado una disminución paulatina de las áreas sembradas (Granados, 2020).

Con respecto a este último punto se verifica el criterio técnico ofrecido mediante datos estadísticos del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) donde se logra apreciar que para la región del Valle Central y específicamente para el cantón de Heredia, la cantidad de hectáreas sembradas ha ido disminuyendo de forma consistente desde 2001 (Instituto del Café de Costa Rica, 2021).

De esta manera, para esta categoría de emisión y considerando el criterio técnico ofrecido, se opta por mantener los valores reportados en el VI Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014) en lo referente al sector ganadero y siguiendo el mismo criterio técnico se utilizan los datos del ICAFE para estimar las hectáreas sembradas de este cultivo en el cantón en el año 2021 y obtener así las emisiones procedentes de este.

4.2.5.1. Emisiones Provenientes del Ganado Vacuno

En lo que corresponde a la ganadería vacuna, esta genera emisiones principalmente debido al proceso de fermentación entérica que ocurre en el tracto digestivo del ganado, el cual libera metano a la atmósfera y puede representar un aporte importante cuando se cuenta con una gran cantidad de cabezas (Tubiello, y otros, 2015).

Este tipo de ganadería suele ser de las más ampliamente practicadas y por ende se podría esperar que su aporte dentro de las distintas emisiones que se derivan del sector agropecuario, esta represente un aporte mayoritario.

Así mismo, las emisiones de metano provenientes del ganado vacuno varían según la edad y sexo de los animales, así como de la dieta que reciben. Por este motivo, el IMN (2022) utiliza diferentes factores de emisión según la edad y sexo del ganado dividiéndolo en terneros, hembras y machos en crecimiento y hembras y machos adultos; así como también por tipo de ganado en ganado de carne, leche o doble propósito.

De esta manera, el **Cuadro 29** muestra las cabezas de ganado vacuno segregadas por edad, sexo y tipo de ganado, mientras que el **Cuadro 30** muestra las emisiones de metano asociadas expresadas como dióxido de carbono equivalente.

Cuadro 29. Cabezas de ganado vacuno segregadas por edad, sexo y tipo para el cantón de Heredia según información del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Tipo de ganado	Carne	Leche	Doble propósito	Total
Terneros	15	363	135	513
Hembras en crecimiento	18	435	162	615
Machos en crecimiento	1	0	4	5
Hembras adultas	38	903	355	1 276
Machos adultos	1	0	9	10
Total	73	1701	645	2 419

Fuente: Elaboración propia con base en (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014).

Cuadro 30. Emisiones de metano (kg) y CO_{2eq} (Mg) generadas por el ganado vacuno para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

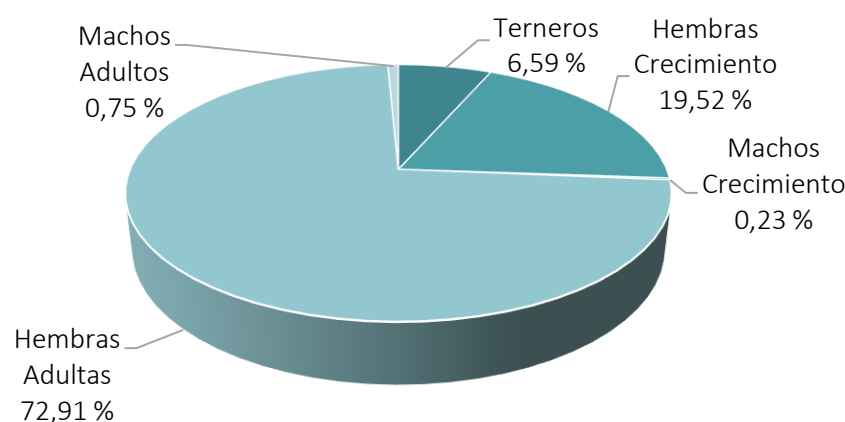
Tipo de ganado	Metano (kg)			CO _{2eq} (Mg)			CO _{2eq} total (Mg)
	Carne	Leche	Doble Propósito	Carne	Leche	Doble propósito	
Terneros	292,20	7 260,00	2 269,35	6,14	152,46	47,66	206,25
Hembras en crecimiento	1 144,98	21 180,15	6 789,42	24,04	444,78	142,58	611,41
Machos en crecimiento	66,25	0,00	280,64	1,39	0,00	5,89	7,28
Hembras adultas	3 260,40	76 755,00	28 699,45	68,47	1 611,86	602,69	2 283,01
Machos adultos	111,70	0,00	1 005,30	2,35	0,00	21,11	23,46
Total	4 875,53	105 195,15	39 044,16	102,39	2 209,10	819,93	3 131,41

Fuente: Elaboración propia.

Del **Cuadro 29** se puede observar que la mayor parte del ganado en el cantón se destina a la producción lechera, y por consiguiente la población más grande con respecto al sexo son hembras tanto adultas como en crecimiento.

Esto mismo se ve reflejado en el resultado de las emisiones que se muestran en el **Cuadro 30**, donde el ganado destinado a la producción lechera genera 2 209,10 Mg CO_{2eq} y por sexo las hembras adultas generan 2 283,01 Mg CO_{2eq}. De esta forma las emisiones totales provenientes de la actividad ganadera vacuna corresponden a 3 131,41 Mg CO_{2eq}.

Por último, la **Figura 21** muestra la distribución porcentual de las emisiones de acuerdo con la edad y sexo del ganado para el cantón de Heredia, que viene a confirmar de manera visual las afirmaciones hechas anteriormente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} para el ganado vacuno por edad y sexo para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

4.2.5.2 Emisiones Provenientes del Ganado de Otras Especies

Aunque el ganado vacuno es el más difundido en la práctica agropecuaria, otros tipos de ganadería también se pueden hallar en el cantón, aportando a las emisiones de GEI, aunque usualmente en menor medida que las vacas.

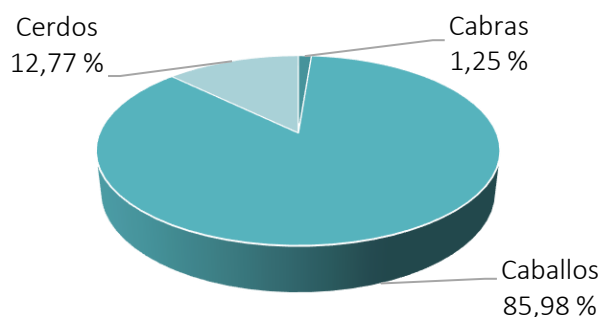
De acuerdo con los datos del INEC (2014) en el cantón de Heredia no se practica la ganadería de búfalos ni ovejas, por lo que en el **Cuadro 31** se muestran las emisiones de metano y dióxido de carbono equivalentes para los restantes tipos de ganadería en

el cantón, mientras que en la **Figura 23** se muestra la distribución porcentual de las emisiones por tipo de ganado.

Cuadro 31. Emisiones de metano (kg/año) y CO_{2eq} (Mg/año) generadas por otros tipos de ganado distintos al vacuno para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Tipo de ganado	Cabezas	Metano (kg/año)	CO _{2eq} (Mg/año)
Cabras	12	60,00	1,26
Caballos	229	4 122,00	86,56
Cerdos	612	612,00	12,85
Total		4 794,00	100,67

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} para el ganado vacuno por edad y sexo para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Del **Cuadro 19** y **Figura 23** se puede observar que el total de emisiones de dióxido de carbono equivalente provenientes de otros tipos de ganado distintos al vacuno corresponde a 100,67 Mg CO_{2eq}, donde un 85,98 % de estas provienen de los caballos, seguido de los cerdos y en menor medida las cabras.

4.2.5.3. Emisiones Provenientes de la Gestión del Estiércol

El estiércol se compone principalmente de materia orgánica y agua, cuya descomposición deriva en la liberación de GEI a la atmósfera, principalmente metano (Tubiello, y otros, 2015). La cantidad de emisiones depende de la cantidad y tipo de ganado, considerando el vacuno, equino, caprino, porcino y avícola.

De esta manera, el **Cuadro 32** muestra las cabezas de ganado para los tipos antes mencionados y sus respectivas emisiones de metano y dióxido de carbono equivalentes producto de la descomposición de su estiércol, mientras que la **Figura 24** muestra la distribución porcentual de dichas emisiones por tipo de ganado.

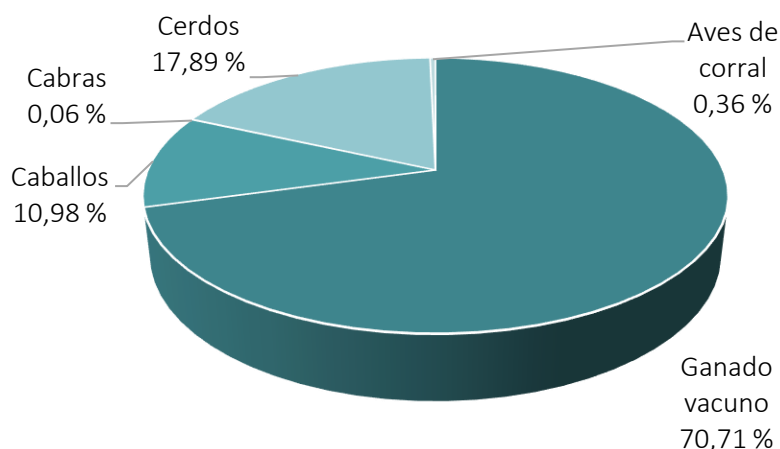
Cuadro 32. Emisiones de metano (kg/año) y CO_{2eq} (Mg/año) debido a la gestión del estiércol para diferentes tipos de ganado en el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Tipo de Ganado	Cabezas	Metano (kg/año)	CO _{2eq} (Mg/año)
Ganado Vacuno	2 419	2 419,00	50,80
Caballos	229	375,56	7,89
Cabras	12	2,04	0,04
Cerdos	612	612,00	12,85
Aves de corral	617	12,34	0,26
Total		3 420,94	71,84

Fuente: Elaboración propia.

Del **Cuadro 20** se aprecia que el total de emisiones por la gestión del estiércol para distintos tipos de ganado en el cantón de Heredia corresponde a 71,84 Mg CO_{2eq}, donde el estiércol proveniente del ganado vacuno es el responsable de la mayor parte de las emisiones como se aprecia en la **Figura 23**, en parte debido a que este tipo de ganado es el más extendido en el cantón y por ende al haber una mayor cantidad de cabezas, también existe una mayor generación de estiércol. Los cerdos y los caballos siguen en el aporte porcentual y las aves de corral y las cabras tienen un aporte

sumamente bajo en las emisiones de esta categoría que, si bien se suma en el total, porcentualmente es casi despreciable.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por tipo de ganado debido a la gestión del estiércol para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

4.2.5.4. Emisiones Provenientes del Uso de Suelo para Cultivos

En lo que respecta a la actividad agrícola, se contabilizan las emisiones de óxido nitroso que son normalmente estimadas a partir de los datos sobre nitrógeno suministrado a los suelos producto de la fertilización de estos (Tubiello, y otros, 2015). De los datos del VI Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014) se tiene que para el cantón de Heredia la siembra de caña de azúcar, cebolla y papa es tan pequeña que para efectos prácticos es despreciable pues estadísticamente no es significativa.

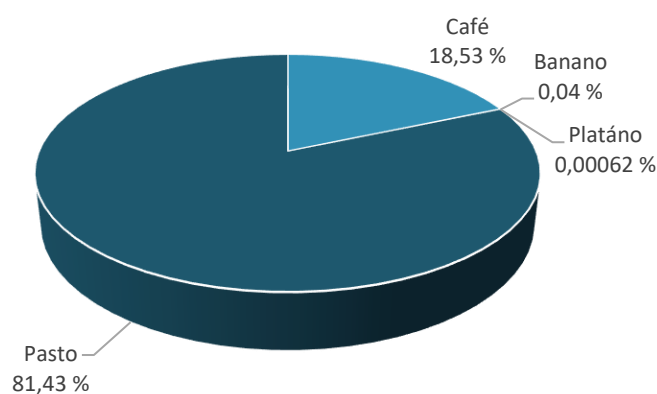
Sin embargo, los datos del Censo muestran registros de sembradíos de café, banano, plátano y pastizales dentro del cantón por lo que para estos cultivos se toma como factor de actividad la cantidad de hectáreas sembradas como base para la estimación de la emisión de óxido nitroso y dióxido de carbono equivalente.

En el caso del cultivo del café, los datos estadísticos del ICAFE (2021) para el Valle Central y particularmente el cantón de Heredia muestra una tendencia decreciente en el área sembrada de este cultivo con el paso del tiempo. Estos datos se les aplica un ajuste lineal con una R de 0,98 y con la ecuación de la recta de mejor ajuste resultante se estima el área sembrada al 2019 que corresponde a 176 ha. Así, en el **Cuadro 33** se muestran las emisiones provenientes de la actividad agrícola del cantón. De igual manera, la **Figura 25** muestra la distribución porcentual de las emisiones por tipo de cultivo.

Cuadro 33. Emisiones de óxido nitroso (kg/año) y CO_{2eq} (Mg/año) debido al área sembrada de diferentes cultivos en el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Cultivo	Área sembrada (ha)	Óxido nitroso (kg/año)	CO _{2eq} (Mg/año)
Café	130,6	1 016,07	314,98
Banano	0,57	2,76	0,86
Plátano	0,01	0,05	0,01
Pasto	1 130,35	6 024,77	1 867,68
Total		7 398,72	2 183,52

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por tipo de cultivo para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Del **Cuadro 21** se observa que el total de emisiones producto de la siembra de distintos tipos de cultivos para el cantón de Heredia corresponde a 2 293,60 Mg CO_{2eq} de las cuales según se aprecia en la **Figura 25** los pastos representan el 81 % correspondiente a 1 867,68 Mg CO_{2eq}, seguido del cultivo de café con 425,06 Mg CO_{2eq}. Aunque el cultivo de banano y plátano también se suman al total, porcentualmente se puede observar que son prácticamente despreciables en comparación con los dos cultivos ya mencionados.

Una observación importante que se debe mencionar para este apartado es que en los datos del INEC (2014) no se indica si las hectáreas sembradas de café corresponden a café con o sin sombra, mientras que el IMN (2022) se brindan factores de emisión para el café en estas dos condiciones. Debido a que se desconoce si el café sembrado tiene sombra o no, se opta por suponer un escenario conservador y tomar el factor de emisión más alto de entre los dos propuestos que corresponde al de café con sombra.

Una situación similar a la anterior ocurre con los pastos ya que el IMN (2022) presenta varios factores de emisión para pastos según la variedad específica de este, sin embargo en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014) si bien se registran las hectáreas sembradas de pastizales, no se registra el tipo específico de pasto, de manera que se supone el escenario más conservador que consiste en tomar el factor de emisión más alto que corresponde al asignado a la jaragua.

4.2.5.5. Resumen de las Emisiones por parte del Sector Agropecuario

Habiendo explicado las emisiones provenientes del sector agropecuario en cada una de sus distintas subcategorías, se procede a presentar en el **Cuadro 34** y **Figura 25** un resumen de las emisiones totales por subcategoría y para todo el cantón por concepto de las emisiones del sector agropecuario y su distribución porcentual por subcategoría.

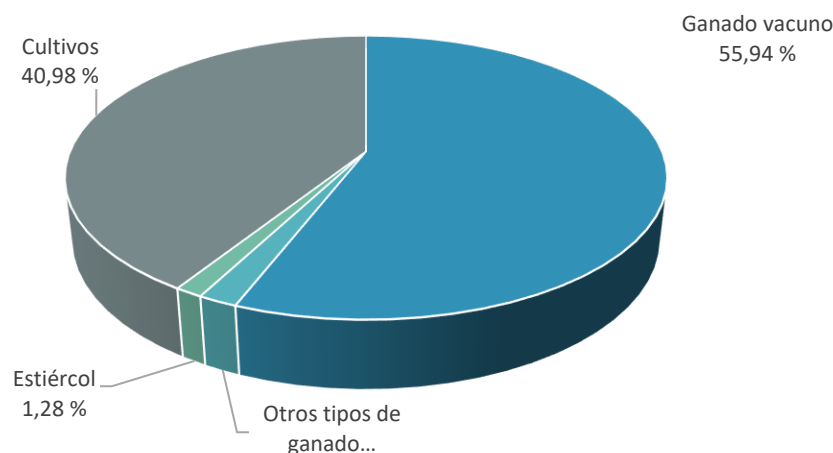
De esta manera se puede observar que el total de emisiones provenientes del sector agropecuario para el cantón de Heredia corresponde a 5 597,53 Mg CO_{2eq}, de las

cuales las emisiones producto de la fermentación entérica en el ganado vacuno predominan con 3 131,41 Mg CO_{2eq} que equivalen a un 55,94 %, seguido de las emisiones provenientes de las actividades agrícolas de cultivo que representan un 40,98 %, es decir 2 293,60 Mg CO_{2eq}.

Cuadro 34. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) debido a las actividades del sector agropecuario en el cantón de Heredia en 2021 con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Sector agropecuario	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
Ganado vacuno	3 131,41
Otros tipos de ganado	100,67
Estiércol	71,84
Cultivos	2 183,52
Total	5 487,44

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

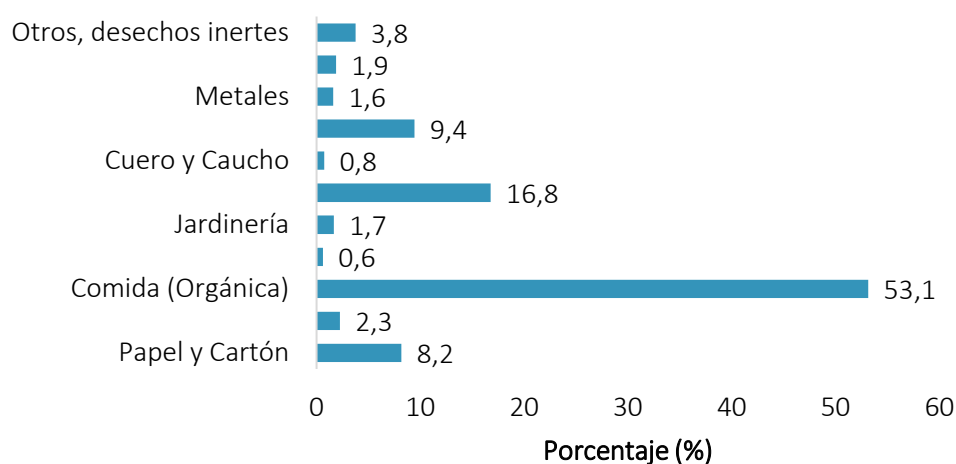
Figura 25. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por tipo de actividad agropecuaria para el cantón de Heredia con base en los datos del VI Censo Nacional Agropecuario, 2014.

Las emisiones provenientes de la gestión de estiércol, así como de los otros tipos de ganado tienen un aporte menor en comparación con las otras actividades, aunque igualmente importante, que se señala en el **Cuadro 22** y se aprecia en la **Figura 26**.

6.2.5 Emisiones por Generación de Desechos Sólidos

La adecuada disposición y manejo de los residuos sólidos representa un reto debido al continuo incremento en el consumo de bienes que generan residuos. Un adecuado plan de gestión integral de los residuos sólidos permite mejorar el manejo de estos para un mayor aprovechamiento. En esta línea, la Municipalidad de Heredia cuenta con un diagnóstico sobre la gestión integral de residuos sólidos en el cantón elaborado por CEGESTI (2013) en el cual se incluye la caracterización de los residuos del cantón.

La **Figura 26** muestra el peso porcentual de cada una de las categorías de residuos sólidos según se desprenden de la caracterización del estudio de CEGESTI (2013). Puede observarse de esta que la mayor parte de los residuos están constituidos por desechos de comida (53,1 %), seguido de pañales o residuos sanitarios (16,8 %), plásticos (9,4 %) y papel y cartón (8,2 %). Las demás clasificaciones presentan pesos menores, aunque igualmente considerados en la estimación de las emisiones.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Composición porcentual de los residuos sólidos para el cantón de Heredia según la caracterización desprendida del diagnóstico de CEGESTI (2013).

Para el propósito de los inventarios y la contabilización de emisiones, el problema de los residuos sólidos radica en el alto contenido de materia orgánica biodegradable que se encuentra mal gestionada, esto debido a que, de la totalidad de los residuos sólidos, la fracción biodegradable es la que se descompone, usualmente en condiciones anaerobias, liberando grandes cantidades de metano a la atmósfera si este no se gestiona adecuadamente.

La Municipalidad de Heredia gestiona la recolección y disposición de los residuos cantonales a través de la empresa privada Tecnoambiente, quienes gestionan el relleno sanitario donde se depositan los residuos y quienes en cumplimiento de la legislación nacional capturan el biogás generado producto de la descomposición de los residuos y queman el metano previo a su liberación a la atmósfera para generar emisiones de dióxido de carbono cuyo potencial de calentamiento global es menor.

La Municipalidad brindó los datos de la cantidad de residuos sólidos recolectados en el cantón para su disposición en el relleno, de manera que en el **Cuadro 35** se muestran las toneladas de residuos por mes para el año 2021 así como la masa correspondiente a cada tipo de residuo de acuerdo con la clasificación de la IPCC (2006) que señala las siguientes categorías: papel y cartón, textiles, alimentos, madera, jardinería, pañales, cuero y caucho, plásticos, metales, vidrio y otros.

Para calcular las emisiones de dióxido de carbono equivalente por la descomposición de los residuos sólidos, se consideran aquellos que de acuerdo con la IPCC (2006) presentan un nivel de biodegradabilidad aceptable, por lo que se excluyen de la estimación los residuos de vidrio, metales y plásticos por su baja biodegradabilidad. Así el **Cuadro 35** muestra las emisiones de dióxido de carbono equivalente por tipo de residuo y el total de emisiones para el cantón por este concepto durante el año 2021.

Cuadro 35. Masa de residuos sólidos totales y por tipo de residuos (Mg) para el cantón de Heredia, 2021.

MES	Mg	Masa Papel y Cartón	Masa Textiles	Masa Comida	Masa Madera	Masa Jardinería	Masa Pañales	Masa Cuero y Caucho	Masa Plásticos	Masa Metales	Masa Vidrio	Masa Otros
ene	3 393,9	276,9	76,3	1 803,4	20,9	56,4	568,8	25,4	320,05	54,64	63,47	127,32
feb	3 476,5	283,6	78,2	1 847,3	21,4	57,8	582,7	26,0	327,84	55,97	65,01	130,42
mar	3 716,1	303,2	83,6	1 974,6	22,9	61,8	622,8	27,8	350,43	59,83	69,49	139,41
abril	3 636,4	296,7	81,8	1 932,3	22,4	60,4	609,5	27,2	342,92	58,55	68,00	136,42
may	4 257,6	347,4	95,8	2 262,4	26,2	70,8	713,6	31,9	401,50	68,55	79,62	159,72
jun	3 701,3	302,0	83,2	1 966,8	22,8	61,5	620,3	27,7	349,04	59,59	69,22	138,86
jul	3 783,6	308,7	85,1	2 010,5	23,3	62,9	634,1	28,3	356,80	60,92	70,75	141,94
Agos	3 935,9	321,1	88,5	2 091,4	24,3	65,4	659,7	29,5	371,16	63,37	73,60	147,66
Sep	3 897,3	318,0	87,6	2 070,9	24,0	64,8	653,2	29,2	367,52	62,75	72,88	146,21
Oct	3 698,7	301,8	83,2	1 965,4	22,8	61,5	619,9	27,7	348,79	59,55	69,17	138,76
Nov	3 959,0	323,0	89,0	2 103,7	24,4	65,8	663,5	29,6	373,34	63,74	74,03	148,52
Dic	3 710,5	302,7	83,4	1 971,6	22,9	61,7	621,9	27,8	349,91	59,74	69,39	139,20
TOTAL	45 167,5	3685,7	1 016,2	24 000,6	278,9	751,1	7 570,5	338,7	4 259,28	727,19	844,63	1 694,44

Fuente: Elaboración propia.

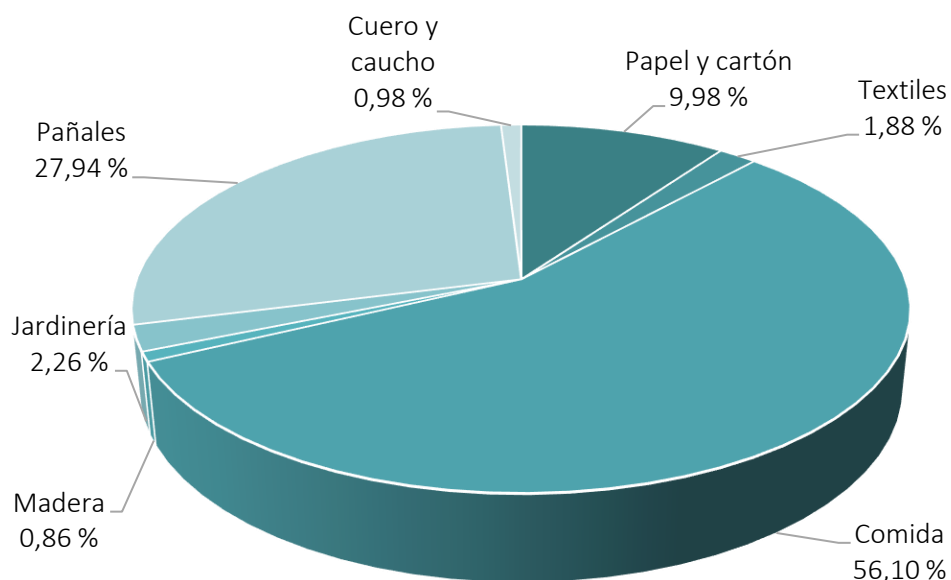
Cuadro 36. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) debido a los residuos sólidos en el cantón de Heredia, 2021.

MES	Emisiones de dióxido de carbono equivalente en Mg							Total
	Papel y Cartón	Textiles	Comida	Madera	Jardinería	Pañales	Cuero y Caucho	
Enero	55,85	10,50	314,10	4,80	12,68	156,44	5,48	559,85
Febrero	57,21	10,76	321,75	4,92	12,98	160,25	5,62	573,48
Marzo	61,15	11,50	343,92	5,26	13,88	171,29	6,00	613,00
Abril	59,84	11,25	336,54	5,15	13,58	167,61	5,88	599,85
Mayo	70,06	13,17	394,04	6,03	15,90	196,25	6,88	702,33
Junio	60,91	11,45	342,55	5,24	13,82	170,61	5,98	610,56
Julio	62,26	11,71	350,17	5,35	14,13	174,40	6,11	624,14
Agosto	64,77	12,18	364,26	5,57	14,70	181,42	6,36	649,26
Septiembre	64,13	12,06	360,69	5,52	14,56	179,64	6,30	642,88
Octubre	60,87	11,44	342,31	5,23	13,81	170,49	5,98	610,13
Noviembre	65,15	12,25	366,40	5,60	14,79	182,48	6,40	653,06
Diciembre	61,06	11,48	343,40	5,25	13,86	171,03	5,99	612,08
TOTAL	743,28	139,74	4 180,12	63,92	168,69	2 081,90	72,97	7 450,61

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro anterior se puede observar que siendo la categoría de comida la fracción más abundante de los residuos y además al ser esta altamente biodegradable, es la que aporta mayor cantidad de emisiones con 4 180,12 Mg CO_{2eq}, los pañales y desechos sanitarios constituyen la segunda categoría con mayor aporte a las emisiones pues aunque su biodegradabilidad sea menor, la masa de estos en la composición de los residuos es significativa en comparación con los de otras categorías, aportando así 2 081,90 Mg CO_{2eq}. La tercera categoría de residuo con mayor aporte, nuevamente por su alta presencia en los residuos y su biodegradabilidad, corresponde al papel y cartón que genera 743,28 Mg CO_{2eq}. Las demás categorías de clasificación de los residuos aportan cantidades pequeñas en comparación con las tres mayoritarias ya mencionadas. De esta manera el total de emisiones producto de la gestión de los residuos sólidos corresponde a 7 450,61 Mg CO_{2eq}.

La **Figura 28** muestra la distribución porcentual de las emisiones según el tipo de residuo en cuestión y se puede confirmar lo expresado anteriormente donde las emisiones producto de la descomposición de la comida, pañales, residuos sanitarios, papel y cartón suman alrededor de un 94 % de las emisiones totales, mientras que las demás categorías suman el 6 % restante.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por tipo de residuo para el cantón de Heredia, 2021.

Es importante rescatar que en lo que respecta a esta categoría, la Municipalidad cuenta con estrategias de mitigación tales como el programa de aprovechamiento de los desechos mediante compostaje, en el cual las personas pueden aprovechar sus residuos orgánicos para producir compost en lugar de tirar estos en la basura. También cuentan un programa de revalorización puerta a puerta en el cual se encargan de recoger aquellos residuos que aún son aprovechables para evitar que terminen en el relleno. Estas estrategias contribuyen a disminuir el total de residuos que finalmente terminarían en el relleno sanitario y por ende representan una estrategia que contribuye con la mitigación de las emisiones.

6.2.6 Emisiones por Generación de Aguas Residuales

Las emisiones de CO_{2eq} generadas por aguas residuales para el 2021 fueron de 13 312,33 Mg siendo la principal fuente las emisiones por aguas residuales residenciales que representan el 89,4 % de total de emisiones. El sector comercial

representa el 10,2 % de las emisiones mientras que el industrial representa menos del 1 %. El uso de agua para las actividades humanas produce aguas residuales, las cuales pueden contener materia orgánica, microorganismos y otras sustancias que se descomponen mediante procesos biológicos, produciendo gases de efecto invernadero como metano y dióxido de carbono, especialmente si no se realiza una adecuada gestión de las aguas contaminadas, motivo por el cual es importante contabilizar las emisiones que provienen de los distintos sistemas de tratamiento así como vertidos de aguas residuales.

6.2.7.1 Emisiones por Aguas Residuales Residenciales

Las emisiones por aguas residuales residenciales fueron 11 908,48 Mg CO_{2eq} para el 2021 que representan un aumento del 3 % con respecto al 2019. De este total el 98 % (11 750 Mg CO_{2eq}) son generadas por aguas residuales sin tratamiento de planta, es decir, las aguas domesticas que son depositadas en un tanque séptico. Las emisiones por aguas residuales con tratamiento fueron de 157,76 Mg CO_{2eq} (**Cuadro 37**). En el caso del cantón de Heredia, la ESPH es la empresa que provee los servicios de agua y gestiona el tratamiento de las aguas residuales residenciales generadas en el cantón. Para este propósito, la empresa cuenta con cinco plantas de tratamiento de aguas residuales que sirven a una población de 16 893 personas.

Cuadro 37. Emisiones de CO_{2eq} en megagramos (toneladas) para las aguas residuales residenciales tratadas en las plantas de la ESPH en el cantón de Heredia, 2021.

Planta de Tratamiento	Principio	Trimestre	DBO (mg/L)	Caudal Promedio (m³/día)	Dato de actividad (kg DBO por trimestre)	Mg CH4	PCG	Mg CO2eq
Real Santa María Este	Aerobia	Ene-Mar	35,9	385	1 243,64	0	21	0
		Abr-Jun	29,9	392	1 067,76	0	21	0
		Jul-Set	51,2	364	1 715,41	0	21	0
		Oct-Dic	41,4	333	1 268,18	0,00	21	0
Real Santa María Oeste	Aerobia	Ene-Mar	22,2	96	191,97	0,00	21	0
		Abr-Jun	20,3	87	160,97	0,00	21	0
		Jul-Set	29,0	54	142,80	0,00	21	0
		Oct-Dic	42,9	50	198,90	0,00	21	0
La Aurora	Aerobia	Ene-Mar	32,0	993	2 855,87	0,00	21	0
		Abr-Jun	8,6	1459	1 136,19	0,00	21	0
		Jul-Set	42,7	1153	4 529,63	0,00	21	0
		Oct-Dic	25,9	1061	2 525,25	0,00	21	0
Flores	Facultativa	Ene-Mar	31,6	847	2 405,29	1,15	21	24,25
		Abr-Jun	60,5	854	4 699,25	2,26	21	47,37
		Jul-Set	68,4	819	5 157,06	2,48	21	51,98
		Oct-Dic	45,0	819	3 389,47	1,63	21	34,17
Los Lagos	Aerobia	Ene-Mar	41,6	571	2 136,85	0,00	21	0,00
		Abr-Jun	43,0	694	2 715,32	0,00	21	0,00
		Jul-Set	39,0	739	2 654,39	0,00	21	0,00
		Oct-Dic	25,4	623	1 456,64	0,00	21	0,00
Total						7,51		157,76

Fuente: Elaboración propia

Además, del Censo Nacional (2011), las proyecciones poblacionales del INEC para el cantón de Heredia en el año 2021 señalan que la población del cantón corresponde a 144 646 habitantes, de manera que un total de 127 753 personas no vierten sus aguas residuales en los sistemas de tratamiento de la ESPH y generan la mayoría de las emisiones (**Cuadro 38**).

Las plantas aerobias que están bien gestionadas poseen un factor de emisión de metano de cero de acuerdo con lo que se indica en las guías de la IPCC (2006) lo que se traducen en el resultado de que estas no generan emisiones. Esto se debe a que en plantas aerobias no se espera que se dé la formación de metano. En el caso de la planta de Flores que es facultativa, sí se espera que se emita metano debido a la naturaleza del tratamiento, siendo que para este tipo de plantas la IPCC (2006) recomienda un factor de producción de metano de 0,6 kg CH₄/kg DBO y un factor de corrección de 0,8.

Cuadro 38. Emisiones de CO_{2eq} (Mg/año) para las aguas residuales residenciales en el cantón de Heredia, 2021.

Tipo de tratamiento	Población servida	Emisiones de CH ₄ (Mg/año)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg/año)
Plantas ESPH	16 893	3,23	67,88
Tanques Sépticos	124 790	546,58	11 478,18
Total	141 683	549,81	11 546,06

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7.2 Emisiones por Aguas Residuales Industriales

En total para el 2021 las emisiones por aguas residuales industriales fueron de 48,05 Mg CO_{2eq} las cuales son menores a las registradas en 2019 (51,7 Mg CO_{2eq}). Las aguas del ente industrial A generaron el 56 % de las emisiones mientras que el ente B generó el 44 % del total emitido (**Cuadro 39**).

Cuadro 39. Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales industriales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal promedio anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg DQO)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
A	132 851 483,33	48, 33	6 421, 16	26,97
B	103 870 787,50	40, 00	5 020,42	21,09
Total				48,05

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7.3 Emisiones por Aguas Residuales Comerciales

En 2021 se emitieron 1 076,53 Mg CO_{2eq} producto de las aguas residuales de los entes comerciales del cantón de Heredia. Estas emisiones fueron generadas por 108 entes comerciales que reportaron el caudal y la DQO de las plantas de tratamiento. Se distinguen tres principales entes generadores cuyas emisiones representan el 34 % del total emitido en esta categoría (**Cuadro 40**). Se aclara que, para mantener la confidencialidad de los entes, se reemplaza su razón social por un código numérico que hace referencia a cada uno de los entes en cuestión.

Cuadro 40. Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
1	1 095 000	18,40	20,15	0,08
2	1 095 000	20,85	22,83	0,10
3	1 277 500	338,10	431,92	1,81
4	1 460 000	628,00	916,88	3,85
5	5 110 000	71,60	365,88	1,54
6	1 277 500	25,90	33,09	0,14
7	151 475	288,50	43,70	0,18
8	578 525	72,30	41,83	0,18
9	4 432 925	88,95	394,31	1,66
10	16 080 075	245,25	3 943,64	16,56
11	4 555 200	174,00	792,60	3,33
12	1 314 000	107,25	140,93	0,59
13	28 312 320	44,00	1 245,74	5,23
14	28 835 000	16,00	461,36	1,94
15	68 547 243	337,00	23 100,42	97,02
16	18 196 467	21,97	399,72	1,68

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 40 (Continuación). Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
17	35 457 317	26,67	945,53	3,97
18	39 188 225	25,50	999,30	4,20
19	27 356 750	39,50	1 080,59	4,54
20	51 751 525	51,00	2 639,33	11,09
21	22 508 333	15,67	352,63	1,48
22	54 911 330	25,00	1 372,78	5,77
23	23 873 433	11,67	278,52	1,17
24	77 129 063	103,75	8 002,14	33,61
25	15 702 300	35,32	554,61	2,33
26	26 593 900	11,00	292,53	1,23
27	103 368 000	86,00	8 889,65	37,34
28	15 622 000	160,00	2 499,52	10,50
29	26 280 000	16,00	420,48	1,77
30	20 294 000	32,50	659,56	2,77
31	3 518 235	29,75	104,67	0,44
32	9 818 500	84,50	829,66	3,48
33	71 799 606	43,50	3 123,28	13,12

Cuadro 40 (Continuación). Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
34	3 704 750	146,80	543,86	2,28
35	19 837 750	31,00	614,97	2,58
36	16 371 710	78,00	1276,99	5,36
37	4 651 925	133,50	621,03	2,61
38	46 418 267	21,67	1 005,73	4,22
39	18 005 450	65,00	1 170,35	4,92
40	27 484 500	14,00	384,78	1,62
41	27 062 925	147,50	3 991,78	16,77
42	38 370 625	178,00	6 829,97	28,69
43	4 175 600	278,00	1 160,82	4,88
44	1 204 500	727,00	875,67	3,68
45	644 225	115,05	74,12	0,31
46	12 921 000	165,00	2 131,97	8,95
47	492 750	5,00	2,46	0,01
48	529 250	26,00	13,76	0,06
49	2 332 350	49,50	115,45	0,48
50	5 695 825	200,50	1 142,01	4,80

Cuadro 40 (Continuación). Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
51	132 851 483	47,33	6 288,30	26,41
52	730 000	87,65	63,98	0,27
53	112 237 865	31,00	3 479,37	14,61
54	73 657 000	51,25	3 774,92	15,85
55	112 376 200	390,67	43 901,64	184,39
56	103 870 788	26,50	2 752,58	11,56
57	101 748 617	31,87	3 242,39	13,62
58	12 957 500	142,50	1 846,44	7,76
59	3 153 600	31,00	97,76	0,41
60	1 168 000	978,00	1 142,30	4,80
61	207 320	352,50	73,08	0,31
62	1 484 333	255,00	378,51	1,59
63	1 686 300	721,00	1 215,82	5,11
64	18 250 000	49,50	903,38	3,79
65	191 625	313,00	59,98	0,25
66	3 719 350	358,50	1 333,39	5,60
67	3 314 200	36,00	119,31	0,50

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 40 (Continuación). Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
68	2 912 700	68,00	198,06	0,83
69	2 372 500	7,00	16,61	0,07
70	2 117 000	444,80	941,64	3,95
71	2 518 500	572,45	1 441,72	6,06
72	1 047 550	47,30	49,55	0,21
73	934 400	47,80	44,66	0,19
74	15 403 000	560,00	8 625,68	36,23
75	11 111 817	32,67	362,99	1,52
76	507 350	138,00	70,01	0,29
77	792 050	284,33	225,21	0,95
78	518 300	73,00	37,84	0,16
79	1 005 575	61,50	61,84	0,26
80	810 300	72,00	58,34	0,25
81	1 825 000	380,60	694,60	2,92
82	420 059 338	40,98	17211,93	72,29

Cuadro 40 (Continuación). Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
83	305 139 088	50,73	15 478,18	65,01
84	215 329 013	26,80	5 770,82	24,24
85	138 859 383	22,90	3 179,88	13,36
86	29 692 750	26,35	782,40	3,29
87	525 600	92,40	48,57	0,20
88	518 300	73,20	37,94	0,16
89	25 935 988	89,83	2329,70	9,78
90	62 329 833	303,67	18 927,49	79 50
91	730 000	219,00	159,87	0,67
92	42 787 125	9,00	385,08	1,62
93	100 932 903	77,43	7 814,73	32,82
94	3 266 750	17,00	55,53	0,23
95	11 680 000	98,00	1 144,64	4,81
96	7 665 000	25,00	191,63	0,80
97	8 468 000	31,00	262,51	1,10

Cuadro 40 (Continuación). Emisiones de CO_{2eq} (Mg) para las aguas residuales comerciales en el cantón de Heredia, 2021.

Ente generador	Caudal Promedio Anual (L)	DQO promedio reportada (mg/L)	DQO promedio anual (kg)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
98	3 698 667	159,07	588,33	2,47
99	1 277 500	30,00	38,33	0,16
100	2 847 000	440,00	1252,68	5,26
101	237 250	25,00	5,93	0,02
102	105 850	124,00	13,13	0,06
103	2 317 750	107,00	248,00	1,04
104	4 380 000	9,00	39,42	0,17
105	24 150 833	45,67	1 102,89	4,63
106	60 748 167	44,33	2 693,17	11,31
107	87 052 500	39,67	3 453,08	14,50
108	72 985 400	30,75	2 244,30	9,43
Total				1 076,53

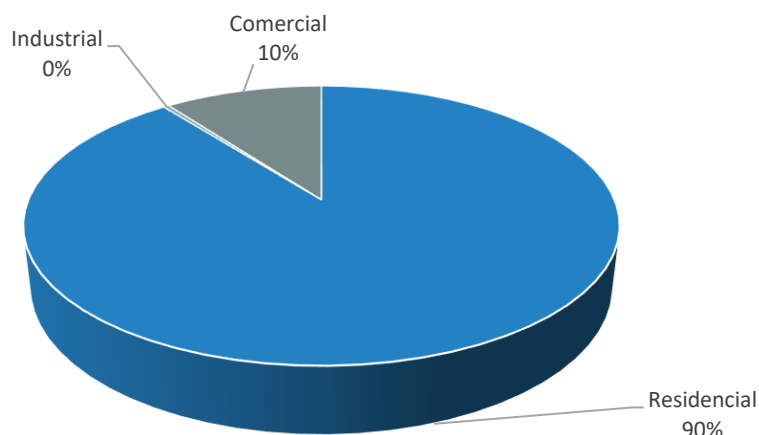
4.2.7.4 Resumen de las Emisiones por Generación de Aguas Residuales

Habiendo discutido los aportes de las emisiones generadas según cada tipo de agua residual que se genera en el cantón, se presenta el **Cuadro 41** el cual resume los resultados por tipo de agua y el total para el cantón. De igual manera, la **Figura 28** muestra la distribución porcentual de las emisiones según el tipo de agua residual para el cantón.

Cuadro 41. Emisiones de CO_{2eq} (Mg) por tipo de agua residual para el cantón de Heredia, 2021.

Tipo de agua	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)
Residencial	11 908,48
Industrial	48,05
Comercial	1 076,53
Total	13 033,07

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Distribución porcentual de las emisiones de CO_{2eq} por tipo de agua residual para el cantón de Heredia, 2021.

4.3. Emisiones de GEI generadas por Fuentes Fijas

Las emisiones provenientes de fuentes fijas son aquellas que se originan producto de la quema de combustibles fósiles para la generación de calor u otros usos industriales (como en calderas y hornos). El total emitido por esta fuente fue de 104 408,29 siendo los entes B, C y D los que mayores emisiones generan (91 %) por quema de combustible para sus calderas quienes principalmente utilizan gas licuado de petróleo (**Cuadro 42**). Se aclara que, para mantener la confidencialidad de los entes, se reemplaza su razón social por un código alfabético que hace referencia a cada ente. Del total de emisiones un 55 % son generadas por la quema de gas licuado de petróleo, un 37 % por la quema de bunker y un 8 % por la quema de diésel en las calderas.

Cuadro 42. Emisiones de CO_{2eq} (Mg) debido a fuentes fijas para el cantón de Heredia, 2021.

Ente Generador	Combustible	Consumo Anual de combustible (L/año)	Emisiones de CO _{2eq} (Mg/año)	Emisiones de CO _{2eq} por metano (Mg/año)	Emisiones de CO _{2eq} por (Mg)	Total de CO _{2eq} (Mg)
A	DIÉSEL	693 500	1 812,12	1,78	5,25	1 819,14
	DIÉSEL	693 500	1 812,12	1,78	5,25	1 819,14
B	BÚNKER	657 000	2 037,36	1,90	5,64	2 044,90
	GAS LICUADO DE PETRÓLEO	21 790 500	35 104,50	12,36	18,54	35 135,39
	BÚNKER	3 248 500	10 073,60	9,41	27,88	10 110,90
C	BÚNKER	5 553 840	17 222,46	16,10	47,67	17 286,23
	BÚNKER	2 303 880	7 144,33	6,68	19,78	7 170,78
	GAS LICUADO DE PETRÓLEO	7 154 000	11 525,09	4,06	6,09	11 535,24
D	GAS LICUADO DE PETRÓLEO	7 154 000	11 525,09	4,06	6,09	11 535,24
	BÚNKER	365 000	1 131,87	1,06	3,13	1 136,06
E	BÚNKER	365 000	1 131,87	1,06	3,13	1 136,06
	DIÉSEL	48 358	126,36	0,12	0,37	126,85
F	DIÉSEL	49 740	129,97	0,13	0,38	130,48
	DIÉSEL	365 000	953,75	0,94	2,76	957,44
	DIÉSEL	365 000	953,75	0,94	2,76	957,44
G	DIÉSEL	365 000	953,75	0,94	2,76	957,44
	DIÉSEL	365 000	953,75	0,94	2,76	957,44
H	DIÉSEL	9 125	23,84	0,02	0,07	23,94
I	GAS LICUADO DE PETRÓLEO	124 100	199,93	0,07	0,11	200,10
	DIÉSEL	124 100	324,27	0,32	0,94	325,53
Total		51 429 143	104 185,99	63,69	158,60	104 408,29

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Emisiones de GEI generadas por Fuentes Móviles

4.4.1 Emisiones del Transporte Convencional (automóviles)

Las emisiones totales de dióxido de carbono equivalente para el año 2021 producto de la quema de combustibles para el cantón de Heredia fue de 163 290,36 Mg de CO_{2eq} lo cual significa una reducción de un 14,1 % con respecto a lo emitido en el 2019. La principal causa fue la baja venta de combustible en los primeros meses del 2021 producto de los efectos de la pandemia del COVID-19. El 41 % del total emitido fue producto de la venta de gasolina super mientras que la quema de diésel y gasolina plus 91 (regular) representan un 31 y 28 % respectivamente (**Cuadro 43**). Las emisiones directas de dióxido de carbono producto de la combustión son las que representan un mayor peso en comparación con las derivadas de metano u óxido nitroso que también se generan como productos de combustión.

Las flotillas vehiculares son una de las principales fuentes de emisión ya que tienden a ser numerosas y los automóviles utilizan aún en su mayoría combustibles fósiles. El uso de vehículos como medio de transporte además suele tener un aporte elevado ya que, aunque cada automóvil puede transportar en promedio cinco personas, en muchas ocasiones se utilizan de manera individual, lo que no solo hace más grande la flotilla vehicular, sino que además entorpece la red vial, ocasionando congestionamientos principalmente en las horas de mayor tránsito. Todos estos factores contribuyen al aumento en las emisiones provenientes de la flotilla vehicular. Los vehículos eléctricos no utilizan combustibles fósiles, generando un menor impacto, aunque sí contribuyen de manera indirecta mediante el consumo eléctrico. Estos han ido incrementando su presencia, sin embargo, su uso aún es limitado debido en parte a su elevado costo.

Cuadro 43. Emisiones de CO_{2eq} (Mg/año) provenientes de las fuentes móviles para el cantón de Heredia, 2021.

Gas de efecto invernadero	Diesel 50	Gasolina Plus 91 (Regular)	Gasolina Súper	TOTAL
Emisiones GEI (Mg)				
CO ₂				157 194
	50 270 788,43	43 364 232,57	63 559 260,19	281,18
CH ₄	2 866,57	17 629,48	25 839,65	46 335,69
N ₂ O	2 962,76	5 500,71	8 062,43	16 525,90
Emisiones de CO _{2eq} (Mg)				
CO ₂	50 270,79	43 364,23	63 559,26	157 194,28
CH ₄	60,20	370,22	542,63	973,05
N ₂ O	918,46	1 705,22	2 499,35	5 123,03
Total	51 249,44	45 439,67	66 601,24	163 290,36

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Emisiones del Transporte No Convencional (Ferroviario)

El transporte ferroviario generó una emisión total durante el 2021 de 75,41 Mg de CO_{2eq} debido a la quema de combustible para los 4 974 viajes realizados sobre el tramo de 2,71 km que pasan por el cantón de Heredia. El total de combustible consumido para el 2021 fue 728 200 litros de diésel. En comparación con las emisiones de 2019 (9 390 viajes) la emisión generada en 2021 es un 59.4 % menor debido principalmente a la reducción de los viajes generados en 2021 producto de la pandemia.

El uso del tren es una alternativa al transporte público tradicional que agiliza la movilización en las ciudades, contribuyendo con la descongestión vial. Al ser una alternativa al transporte público tradicional capaz de movilizar una mayor cantidad de personas por viaje, se perfila como uno de los medios para disminuir el impacto debido a las emisiones por uso de combustibles fósiles, ya que, aunque el tren sí presenta emisiones de gases de efecto invernadero, estas son menores que si se sumaran las

emisiones de los vehículos personales de todas las personas que hacen uso del servicio por viaje.

Es importante mencionar que la combustión del Diesel no solo genera dióxido de carbono, sino también metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Estos dos últimos se expresan en términos de dióxido de carbono equivalente haciendo uso de sus respectivos factores de emisión, los cuales se toman del manual de factores de emisión de gases de efecto invernadero del Instituto Meteorológico Nacional (Instituto Meteorológico Nacional, 2022) (**Cuadro 28**).

Cuadro 44. Emisiones totales de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (Mg) debido al uso de combustible Diesel para transporte de personas en el ferrocarril para el cantón de Heredia, 2021.

GEI	Emisiones (kg/año)	Emisiones $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (kg/año)	Emisiones $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (Mg)
CO_2	73 966,28	73 966,28	73,97
CH_4	4,22	88,57	0,089
N_2O	4,36	1 351,38	1,351
Total	73 974,86	75406,23	75,41

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Comparación de las Emisiones de GEI generadas entre el inventario de 2019 y 2021

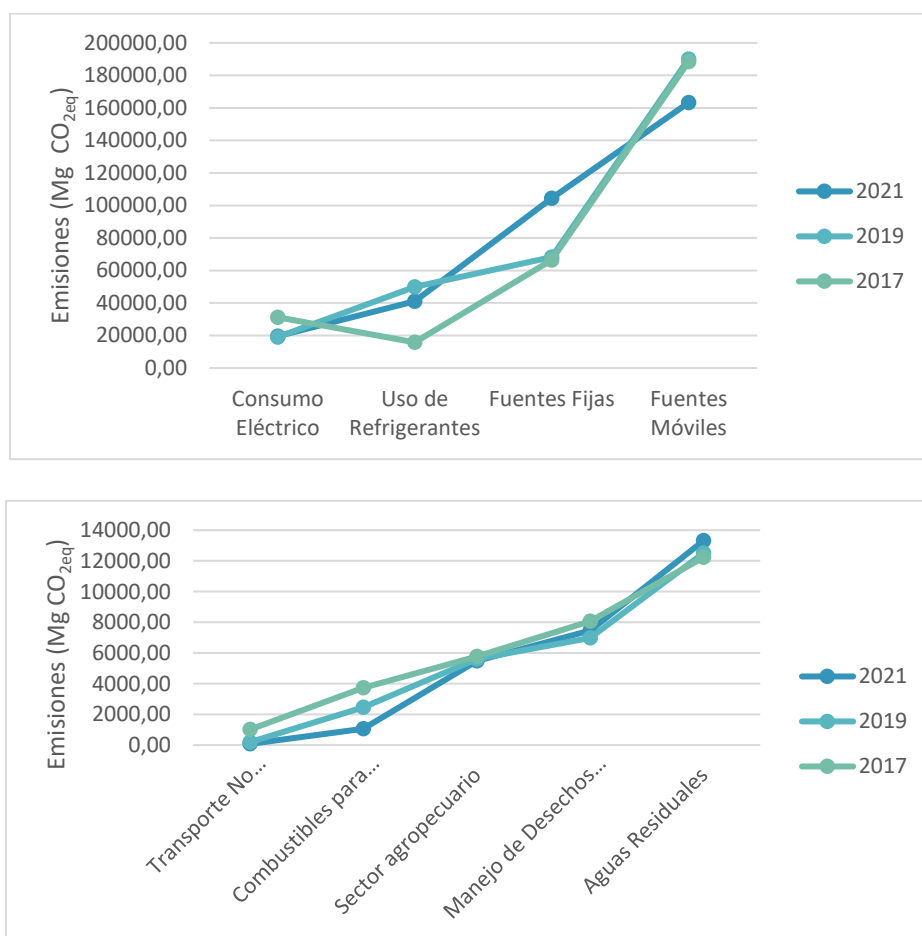
Con el propósito de conocer cuáles categorías han incrementado o disminuido sus emisiones en comparación con el inventario anterior cuyo año base es 2019, se procede a comparar los resultados obtenidos en ambos inventarios. Esta información permite evaluar la efectividad de medidas de mitigación tomadas que tengan una incidencia sobre una de las categorías específicas, así como identificar cuáles áreas han incrementado sus emisiones y que tan grande es dicho incremento para poder enfocar adecuadamente las distintas estrategias de mitigación y reducción de emisiones dentro del cantón. De esta manera, el **Cuadro 32** muestra los resultados de las emisiones de dióxido de carbono equivalente para el año 2019 Y 2021.

Cuadro 45. Comparación de las emisiones de GEI del cantón de Heredia entre el año 2019 Y 2021.

Categoría de emisión	Emisiones de CO _{2eq} (Mg)		Porcentaje de diferencia (%)
	2021	2019	
FUENTES DE ÁREA	88 121,41	96 715,96	-11,05
Consumo eléctrico	19 621,39	19 120,26	1,61
Residencial	5 516,70	4 954,64	6,79
Industrial	2 256,72	3 916,54	-16,53
General	11 847,97	10 249,08	12,45
Uso de refrigerantes	41 114,40	49 860,59	-55,36
Aires acondicionados	36 888,51	37 893,23	-7,89
Refrigeración	3 674,04	10 883,64	-263,72
Congelamiento	383,85	988,31	-296,60
Extintores	168	95,42	58,56
Transporte no convencional	75,41	186,07	-10,98
Ferrovionario	75,41	186,07	-10,98
Combustibles para cocción	1 059,83	2 455,48	-37,36
Sector agropecuario	5 487,45	5 597,53	-1,91
Ganado vacuno	3 131,41	3 131,41	0,00
Otros tipos de ganado	100,67	100,67	0,00
Gestión de estiércol	71,84	71,84	0,00
Uso de suelo por cultivos	2 183,53	2 293,60	-4,48
Manejo de desechos sólidos	7 450,61	6 987,35	5,74
Aguas Residuales	13 312,33	12 508,68	6,57
Residenciales	11 908,48	11 546,06	3,18
Industriales	48,05	51,70	-5,63
Comerciales	1 355,79	910,92	58,51
FUENTES FIJAS	104 408,30	68 272,94	54,31
FUENTES MÓVILES	163 290,36	190 140,77	-14,25
TOTAL	355 820,07	355 129,67	0,21

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados entre años muestran que no existe mayor diferencia entre las emisiones generadas en 2019 con respecto a las del presente inventario del 2021 a pesar de que la principal fuente de emisiones (automóviles de fuentes móviles) disminuyó en un 14,25 %. La diferencia absoluta entre ambos inventarios fue de 620,41 Mg de CO_{2eq}. Las fuentes que aumentaron su aporte a las emisiones en 2021 fueron el uso de calderas (fuentes fijas), uso de extintores, y consumo eléctrico. Por su parte, fuentes como el uso de transporte convencional, uso de refrigerantes y combustibles de cocción fueron algunas fuentes que disminuyeron su aporte a las emisiones (Figura 29).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Comportamiento de las emisiones de GEI en el cantón de Heredia para los años 2017, 2019 y 2021.

El aumento en las fuentes fijas para 2021 (calderas) fue de 36 135,36 Mg de CO_{2eq} que representa un aumento del 54,31 % con respecto al 2019 mientras que las fuentes móviles disminuyeron sus emisiones en 26 850,41 Mg de CO_{2eq}. Las fuentes fijas presentan este incremento en las emisiones debido principalmente a la nueva incorporación de una caldera (que no estaba en funcionamiento en 2019) que funciona con gas licuado de petróleo y que consume 59,7 m³ de combustible al día. Por su parte, las fuentes móviles disminuyeron debido a las restricciones que se aplicaron en Costa Rica por la pandemia del COVID-19.

Las aguas residuales también mostraron un incremento de sus emisiones presentando una diferencia de 803,5 Mg de CO_{2eq} entre el 2021 y el 2019. El principal aumento se generó debido a las aguas residuales comerciales que fueron un 58,51 % mayores para el 2021 (**Figura 29**).



7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Las emisiones totales de dióxido de carbono equivalente en el cantón de Heredia para el año 2021 fue de 355 820 Mg, siendo la categoría de fuentes móviles la que aporta la mayor cantidad de emisiones con un 45,9 % de contribución al total.
- La principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero continúa siendo por la quema de combustibles para la movilidad de las personas, es decir, los automóviles. Sin embargo, existe evidencia de una reducción de un 14,25 % con respecto al 2019 y de un 13,36 % con respecto al 2017 (línea base).
- El inventario de emisiones de 2021 muestra un aumento de 620,41 Mg CO_{2eq} que representa una diferencia del 0,21 % con respecto a lo registrado en 2019, lo cual refleja que las emisiones se mantuvieron durante a pesar del aumento de la población y a las restricciones sanitarias por el COVID-19.
- El consumo de energía eléctrica generó 19 621,4 Mg de CO_{2eq} siendo la categoría general (alumbrado público, preferencial, comercios, alta y media tensión) la que emite el 60 % (11 847,97 Mg de CO_{2eq}) del total de emisiones mientras que el sector residencial e industrial generaron el 28 % (5 516,70 Mg de CO_{2eq}) y 12 % (2 256,20 Mg de CO_{2eq}) respectivamente.
- El total de emisiones generadas por el uso de refrigerantes en los locales ubicados en el cantón de Heredia fueron de 41 114,40 Mg de CO_{2eq} siendo los aires acondicionados (89,7 %) en zonas francas los principales responsables por estas emisiones. Este valor de emisiones es un 17,54 % menor a lo generado en 2019.
- Las aguas residuales generaron emisiones por 13 312,33 Mg de CO_{2eq} siendo la principal fuente las emisiones por aguas residenciales que representan el 89,4 % de total de emisiones. El sector comercial representa el 10,2 % de las emisiones mientras que el industrial representa menos del 1 %.
- El sector agropecuario no presentó una variación significativa con respecto al año base, siendo el único cambio en la parte agrícola con la disminución de las hectáreas de café sembrado. Las emisiones representaron 5 487,44 Mg de CO_{2eq} de la totalidad de las emisiones del cantón de Heredia.

- Los residuos sólidos generaron en 2021 un total de 7 450,61 Mg de CO_{2eq} principalmente por las categorías de los alimentos (4 180,12 Mg CO_{2eq}), pañales (2 081,90 Mg CO_{2eq}), papel y cartón (743,28 Mg CO_{2eq}) los cuales fueron responsables por el 94 % del total de emisiones en cuanto a residuos.
- El cantón de Heredia cuenta con nueve industrias que poseen hornos y calderas. Las emisiones de esta fuente representan 104 408,30 Mg de CO_{2eq} del total de emisiones del cantón siendo este valor un 52 % más alto que el reportado en 2019. Esta diferencia es debido a la incorporación de una nueva caldera en 2021.

7.2. Recomendaciones

- Identificar acciones ambientales realizadas por el cantón que puedan ser atribuidas a los aumentos y disminuciones de las emisiones de GEI en el cantón.
- Establecer alianzas con el sector agropecuario del cantón que permita la obtención de información actualizada de esta categoría promoviendo así el mejoramiento de la métrica y la calidad de los datos.
- Se recomienda identificar a partir de las mayores fuentes de generación estrategias ambientales orientadas a la mitigación y reducción.
- Se recomienda usar la información de las entrevistas ejecutadas en 2023 para el próximo inventario ya que es la información real para dicho año, aunque mejorando la búsqueda de información en las zonas francas.



8. Limitaciones

- Una limitante importante en las estimaciones de las emisiones para el sector agropecuario es que la fuente de información estadística más confiables es el VI Censo Agropecuario realizado por el INEC en el año 2014, y no se cuentan con fuentes más recientes. A este respecto se extendió la consulta a la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para conocer su criterio técnico sobre el comportamiento del sector ganadero y agrícola del cantón.
- Las encuestas para los refrigerantes y las emisiones por combustión de coacción fueron realizadas en el 2023 por lo que existe un desfase de la información con respecto al número de patentes que pudieron haber existido en 2021. Por tanto, las emisiones reportadas en el presente inventario pueden estar sobreestimando los valores reales ya que durante el 2021 muchos locales estaban cerrados y sin funcionamiento normal debido a la crisis generada por la pandemia del COVID-19.
- Para efectos del cálculo de las emisiones por la gestión de residuos sólidos, se requiere conocer la fracción de metano en el gas producido en el relleno en el que se disponen estos, sin embargo, la empresa que gestiona los residuos no cuenta con información certera de la composición exacta del biogas y la fracción de metano asociada a este, por lo que se utiliza un valor teórico con base en documentación científica y las recomendaciones de la IPCC (2006).
- La composición de los residuos sólidos se obtiene del plan integral de gestión de residuos elaborado por CEGESTI (2013) para la Municipalidad de Heredia, siendo esta la referencia más reciente disponible. Este estudio como se observa data del año 2013, por lo cual, si bien la cantidad de residuos varía año con año y esto se observa en los resultados de las emisiones, la variación en los tipos de residuos y su efecto sobre las emisiones no se ve reflejado para el año de estudio.
- Para algunos de los cálculos de emisiones, donde no se cuenta con información suficiente de las fuentes a nivel nacional, se utilizan factores recomendados por la IPCC (2006) buscando siempre los que mejor se ajustan a las características de las fuentes y las condiciones del país, estos, sin embargo, tienden a ser datos generales

por lo que no siempre se logran obtener parámetros específicos para el país o la región.

- Existe un limitante generado por el no acceso a la información de zonas francas en Ulloa lo cual subestima las emisiones que podrían estar generándose por el uso de refrigerantes en estos locales bajo el régimen de zona franca. Las emisiones podrían ser iguales a las registradas en San Francisco por lo que es importante considerar esta limitante al socializar la información.



9. Bibliografía

- Aguilar, A., Valerio, V., Molina, S., & Rodríguez, F. (2020). Adaptación ante el cambio climático por entes operadores del servicio de agua potable: Casos en Barva y Quepos. *Ambientico*, 38-43.
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases efecto invernadero y el cambio climático*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- CEGESTI. (2013). *Diagnóstico de la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Cantón Central de Heredia*. Heredia.
- Centro Nacional de Control de Energía. (2019). *Generación y demanda: Informe Anual 2019*.
- Centro Nacional de Control de Energía. (2021). *Generación y demanda: Informe Anual 2021*.
- Decreto Ejecutivo Nº 33601. (Agosto de 2007). Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. *Diario Oficial La Gaceta*.
- Flores, R., Delgado, F., & Romero, V. (Setiembre-Diciembre de 2012). Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente. *Ingeniería*, 16(3), 229-241.
- Gobierno de Costa Rica. (2018). *Política Nacional de Cambio Climático*. Obtenido de https://chmcostarica.go.cr/sites/default/files/content/Politica_ADAPTACION_24_abril.pdf
- Granados, R. E. (19 de noviembre de 2020). Ph.D. (C. Balma, Entrevistador)
- Herrera, J. (2014). Inventario de emisiones de contaminantes criterio en 2011. *Ciencias Ambientales*, 5-20. Obtenido de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/7226/7432>
- Herrera, J., Rojas, J., Rodríguez, S., Rojas, A., & Beita, V. (2013). Determinación de emisiones de metano en tres embalses hidroeléctricos en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 46, 27-36.
- Hyun-Sun, K., & Seung-Muk, Y. (2009). Methane Emission Estimation from Landfills in Korea (1978–2004): Quantitative Assessment of a New Approach. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 70-77.
- INE-SEMANART. (2005). *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. México, D.F.: Impresores, S.A. de C.V.
- Instituto del Café de Costa Rica. (2021). *Compendio estadístico de actividad cafetalera para el Valle Central*. San José. Obtenido de <http://www.icafe.cr/sector-cafetalero/informacion-de-mercado/reportes-de-mercado/estadisticas-del-sector-cafe-regiones-cafetalaras/>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2022). Factores de emisión de gases de efecto invernadero 2022. *Décima edición*. Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2011). Censo Nacional. Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). VI Censo Nacional Agropecuario. Costa Rica.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory* (Vol. Volume 1: General Guidance and Reporting). Japón: IGES.



- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007 The Physical Science Basis*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero*. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_0_Cover.pdf
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Obtenido de Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC. (2018). *Anexo I: Glosario*. Obtenido de Calentamiento global de 1,5 °C: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf
- IPCC. (2018). *Informe aceptado por el Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático pero no aprobado en detalles*. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>
- IPCC. (2019). *Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- Kean Fong, W., Sotos, M., Doust, M., Schultz, S., Marques, A., & Deng-Beck, C. (2014). *Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria*. Obtenido de Protocolo de Gases Efecto Invernadero: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014). *Acciones implementadas por Costa Rica para la preservación de la capa de ozono*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: http://www.undp.org/content/dam/costa_rica/docs/undp_cr_ozono_2014.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2014b). *Implementación del protocolo de montreal en Costa Rica*. Obtenido de Dirección de Gestión de Calidad Ambiental: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/protocolo_de_montreal.pdf
- OMM. (2019). *Boletín de Gases Efecto Invernadero*. Obtenido de https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100
- Plazas, J. (2012). *Los refrigerantes y el medio ambiente*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Ranganathan, J., Moorcroft, D., Koch, J., & Bhatia, P. (2015). *Protocolo de Gases Efecto Invernadero: estándar corporativo de contabilidad y reporte*. Obtenido de World Resources Institute: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2020). *Gas Licuado de Petróleo (GLP)*. Obtenido de RECOPE: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/gas-licuado-de-petroleo-glp/>

- Rojas, J. (2014). *Residuos sólidos y calentamiento global*. Obtenido de CEGESTI:
http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_254_310314_es.pdf
- Semanart. (2007). *Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana: El efecto Invernadero*. Obtenido de
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AIRE02_01&IBIC_use=r=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- Semanart. (2018). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Obtenido de Semanart:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap5_atmosfera.pdf
- SEMENART. (2005). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones*. México D.F.
- Sistema Nacional de Información Territorial & ESRI. (2018). Mapa distrital del cantón de Heredia. *Mapa*.
- Tubiello, F., Córdor-Golec, R., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., Ferrara, A., . . . Prospero, P. (2015). *Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Agricultura*. Recuperado el abril de 2019, de FAO: <http://www.fao.org/3/a-i4260s.pdf>
- Urrego, C. (2018). Metodología de selección de refrigerantes: alternativas ecológicas y eficientes energéticamente. *Revista de Investigación*, 11(1), 75-89.
- Vega, J. (2017). *Guía de implementación del PPCN 2.0 categoría cantonal*. Obtenido de Programa País Carbono Neutralidad: <https://www.fonafifo.go.cr/media/1380/gui-a-implementacio-n-ppcn-20-cantonal.pdf>
- Vega, J. (2017). *Metodología para la medición, reporte y verificación de emisiones, reducciones, remociones y compensaciones de GEI a nivel cantonal para Costa Rica*. San José, Costa Rica: Programa País Carbono Neutralidad.



10. Anexos

Anexo 1. Encuesta aplicada al sector comercial para la obtención de información relevante para la cuantificación de emisiones de Gases Efecto Invernadero en el cantón de Heredia.

 	
<p>Encuesta para la elaboración del inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el cantón de Heredia, año base 2021</p>	
Consecutivo:	Fecha:
Nombre del encuestado:	Distrito:
Número de patente comercial:	Subcategoría:
Nombre razón social:	Teléfono:
Categoría 1. Aires acondicionados	
A. Presenta aires acondicionados Sí () No ()	
Si la respuesta es “si” completar la siguiente información.	
B. Número de equipos: 	C. Años de instalación: EQ 1: EQ 2: EQ 3: EQ 4: EQ 5:
D. Marca (as): EQ 1: EQ 2: EQ 3: EQ 4: EQ 5:	E. Refrigerante: EQ 1: EQ 2: EQ 3: EQ 4: EQ 5:
F. Modelo: EQ 1: EQ 2: EQ 3: EQ 4: EQ 5:	G. Carga: EQ 1: EQ 2: EQ 3: EQ 4: EQ 5:
H. Características de los equipos (si es necesario):	

<p>NOTA IMPORTANTE: En el caso de contar con más de un equipo se utilizará la abreviatura "EQUIPO 1, 2,3..." para asignar la información correspondiente. Ejemplo: Equipo 1: Marca LG. Equipo 2: Marca Panasonic.</p> <p>En el caso de no contar con algún dato de los equipos anotar NA*.</p>	
<p>Categoría 2. Sistemas de refrigeración</p>	
<p>A. Presenta sistemas de refrigeración Sí () No ()</p>	
<p>Si la respuesta es "sí" completar la siguiente información.</p>	
<p>B. Número de equipos:</p> <p>:</p>	<p>C. Año de instalación:</p> <p>EQ 1:</p> <p>EQ 2:</p> <p>EQ 3:</p> <p>EQ 4:</p> <p>EQ 5:</p>
<p>D. Marca (as):</p> <p>EQ 1:</p> <p>EQ 2:</p> <p>EQ 3:</p> <p>EQ 4:</p> <p>EQ 5:</p>	<p>E. Refrigerante:</p> <p>EQ 1:</p> <p>EQ 2:</p> <p>EQ 3:</p> <p>EQ 4:</p> <p>EQ 5:</p>
<p>F. Modelo:</p> <p>EQ 1:</p> <p>EQ 2:</p> <p>EQ 3:</p> <p>EQ 4:</p> <p>EQ 5:</p>	<p>G. Carga (anotar unidades: g, kg, oz, lb, etc):</p> <p>EQ 1:</p> <p>EQ 2:</p> <p>EQ 3:</p> <p>EQ 4:</p> <p>EQ 5:</p>
<p>H. Características de los equipos (si es necesario):</p>	
<p>NOTA IMPORTANTE: En el caso de contar con más de un equipo se utilizará la abreviatura "EQUIPO 1, 2,3..." para asignar la información correspondiente. Ejemplo: Equipo 1: Marca LG. Equipo 2: Marca Panasonic.</p> <p>En el caso de no contar con algún dato de los equipos anotar NA*.</p>	
<p>Categoría 3. Sistemas de congelación</p>	
<p>A. Presenta sistemas de congelación Sí () No ()</p>	

EQ 4:

EQ 5:

NOTA IMPORTANTE: En el caso de contar con más de un equipo se utilizará la abreviatura "EQUIPO 1, 2,3..." para asignar la información correspondiente. Ejemplo: Equipo 1: Gas. Equipo 2: Electricidad.

En el caso de no contar con algún dato de los equipos anotar **NA***.

Anexo 2. Mezclas de CFC y HCFC en equipos que utilizan refrigerante para su funcionamiento.

Mezcla	Componente	Composición (%)
R-400	CFC-12/CFC-114	Debe especificarse
R-401A	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(53,0/13,0/34,0)
R-401B	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(61,0/11,0/28,0)
R-401C	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(33,0/15,0/52,0)
R-402A	HFC-125/HC-290/HCFC-22	(60,0/2,0/38,0)
R-402B	HFC-125/HC-290/HCFC-22	(38,0/2,0/60,0)
R-403A	HC-290/HCFC-22/PFC-218	(5,0/75,0/20,0)
R-403B	HC-290/HCFC-22/PFC-218	(5,0/56,0/39,0)
R-404A	HFC-125/HFC-143a/HFC-134a	(44,0/52,0/4,0)
R-405A	HCFC-22/ HFC-152a/ HCFC-142b/PFC-318	(45,0/7,0/5,5/42,5)
R-406A	HCFC-22/HC-600a/HCFC-142b	(55,0/14,0/41,0)
R-407A	HFC-32/HFC-125/HFC-134 ^a	(20,0/40,0/40,0)
R-407B	HFC-32/HFC-125/HFC-134 ^a	(10,0/70,0/20,0)
R-407C	HFC-32/HFC-125/HFC-134 ^a	(23,0/25,0/52,0)
R-407D	HFC-32/HFC-125/HFC-134 ^a	(15,0/15,0/70,0)
R-407E	HFC-32/HFC-125/HFC-134 ^a	(25,0/15,0/60,0)
R-408A	HFC-125/HFC-143a/HCFC-22	(7,0/46,0/47,0)
R-409A	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b	(60,0/25,0/15,0)
R-409B	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b	(65,0/25,0/10,0)
R-410A	HFC-32/HFC-125	(50,0/50,0)
R-410B	HFC-32/HFC-125	(45,0/55,0)
R-411 ^a	HC-1270/HCFC-22/HFC-152 ^a	(1,5/87,5/11,0)
R-411B	HC-1270/HCFC-22/HFC-152 ^a	(3,0/94,0/3,0)
R-411C	HC-1270/HCFC-22/HFC-152 ^a	(3,0/95,5/1,5)
R-412 ^a	HCFC-22/PFC-218/HCFC-142b	(70,0/5,0/25,0)
R-413 ^a	PFC-218/HFC-134a/HC-600a	(9,0/88,0/3,0)
R-414 ^a	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	(51,0/28,5/4,0/16,5)
R-414B	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	(50,0/39,0/1,5/9,5)
R-415 ^a	HCFC-22/HFC-152 ^a	(82,0/18,0)
R-415B	HCFC-22/HFC-152 ^a	(25,0/75,0)

Mezcla	Componente	Composición (%)
R-416A	HFC-134a/HCFE-124/HC-600	(59,0/39,5/1,5)
R-417A	HFC-125/HFC-134a/HC-600	(46,6/50,0/3,4)
R-418A	HC-290/HCFE-22/HFC-152 ^a	(1,5/96,0/2,5)
R-419A	HFC-125/HFC-134a/HE-E170	(77,0/19,0/4,0)
R-420A	HFC-134a/HCFE-142b	(88,0/12,0)
R-421A	HFC-125/HFC-134 ^a	(58,0/42,0)
R-421B	HFC-125/HFC-134 ^a	(85,0/15,0)
R-422A	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(85,1/11,5/3,4)
R-422B	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(55,0/42,0/3,0)
R-422C	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(82,0/15,0/3,0)
R-500	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(73,8/26,2)
R-501	HCFE-22/CFC-12	(75,0/25,0)
R-502	HCFE-22/CFC-115	(48,8/51,2)
R-503	HFC-23/CFC-13	(40,1/59,9)
R-504	HFC-32/CFC-115	(48,2/51,8)
R-505	CFC-12/HCFE-31	(78,0/22,0)
R-506	CFC-31/CFC-114	(55,1/44,9)
R-507A	HFC-125/HFC-143 ^a	(50,0/50,0)
R-508A	HFC-23/PFC-116	(39,0/61,0)
R-508B	HFC-23/PFC-116	(46,0/54,0)
R-509A	HCFE-22/PFC-218	(44,0/56,0)

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 3. Estimados para carga, vida e índices de emisión para refrigeración, congelación y sistemas de aire acondicionado.

TABLE 7.9 ESTIMATES¹ FOR CHARGE, LIFETIME AND EMISSION FACTORS FOR REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING SYSTEMS						
Sub-application	Charge (kg)	Lifetimes (years) ²	Emission Factors (% of initial charge/year) ³		End-of-Life Emission (%)	
Factor in Equation	(M)	(d)	(k)	(x)	($\eta_{rec,d}$)	(p)
			Initial Emission	Operation Emission	Recovery Efficiency ⁴	Initial Charge Remaining
Domestic Refrigeration	$0.05 \leq M \leq 0.5$	$12 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq k \leq 1$	$0.1 \leq x \leq 0.5$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Stand-alone Commercial Applications	$0.2 \leq M \leq 6$	$10 \leq d \leq 15$	$0.5 \leq k \leq 3$	$1 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Medium & Large Commercial Refrigeration	$50 \leq M \leq 2000$	$7 \leq d \leq 15$	$0.5 \leq k \leq 3$	$10 \leq x \leq 35$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$50 < p < 100$
Transport Refrigeration	$3 \leq M \leq 8$	$6 \leq d \leq 9$	$0.2 \leq k \leq 1$	$15 \leq x \leq 50$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 50$
Industrial Refrigeration including Food Processing and Cold Storage	$10 \leq M \leq 10,000$	$15 \leq d \leq 30$	$0.5 \leq k \leq 3$	$7 \leq x \leq 25$	$0 < \eta_{rec,d} < 90$	$50 < p < 100$
Chillers	$10 \leq M \leq 2000$	$15 \leq d \leq 30$	$0.2 \leq k \leq 1$	$2 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 95$	$80 < p < 100$
Residential and Commercial A/C, including Heat Pumps	$0.5 \leq M \leq 100$	$10 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq k \leq 1$	$1 \leq x \leq 10$	$0 < \eta_{rec,d} < 80$	$0 < p < 80$
Mobile A/C	$0.5 \leq M \leq 1.5$	$9 \leq d \leq 16$	$0.2 \leq k \leq 0.5$	$10 \leq x \leq 20^5$	$0 < \eta_{rec,d} < 50$	$0 < p < 50$
¹ Based on information contained in UNEP RTOC Reports (UNEP-RTOC, 1999; UNEP-RTOC, 2003) ^{2,3} Lower value for developed countries and higher value for developing countries ⁴ The lower threshold (0%) highlights that there is no recovery in some countries. ⁵ Schwarz and Harnisch (2003) estimates leakage rates of 5.3% to 10.6%; these rates apply only to second generation mobile air conditioners installed in European models in 1996 and beyond.						

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 4. Potenciales de calentamiento global para los principales refrigerantes de uso comercial.

Refrigerante	PCG
CFC-12	10900
HCFC-22	1810
HFC-152a	124
HFC-125	3500
HC-290	3,3
HFC-143a	4470
HFC-134a	1430
HC-600a	3
HFC-32	675
R-744	1
HCFC-123	77

Fuente: IPCC (2007).

Anexo 5. Contenido estándar de materia seca, contenido de DOC, contenido total de carbón y fracción de carbón fósil de diferentes componentes de desechos sólidos municipales.

TABLE 2.4 DEFAULT DRY MATTER CONTENT, DOC CONTENT, TOTAL CARBON CONTENT AND FOSSIL CARBON FRACTION OF DIFFERENT MSW COMPONENTS									
MSW component	Dry matter content in % of wet weight ¹	DOC content in % of wet waste		DOC content in % of dry waste		Total carbon content in % of dry weight		Fossil carbon fraction in % of total carbon	
		Default	Range	Default	Range ²	Default	Range	Default	Range
Paper/cardboard	90	40	36 - 45	44	40 - 50	46	42 - 50	1	0 - 5
Textiles ³	80	24	20 - 40	30	25 - 50	50	25 - 50	20	0 - 50
Food waste	40	15	8 - 20	38	20 - 50	38	20 - 50	-	-
Wood	85 ⁴	43	39 - 46	50	46 - 54	50	46 - 54	-	-
Garden and Park waste	40	20	18 - 22	49	45 - 55	49	45 - 55	0	0
Nappies	40	24	18 - 32	60	44 - 80	70	54 - 90	10	10
Rubber and Leather	84	(39) ⁵	(39) ⁵	(47) ⁵	(47) ⁵	67	67	20	20
Plastics	100	-	-	-	-	75	67 - 85	100	95 - 100
Metal ⁶	100	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
Glass ⁶	100	-	-	-	-	NA	NA	NA	NA
Other, inert waste	90	-	-	-	-	3	0 - 5	100	50 - 100

¹ The moisture content given here applies to the specific waste types before they enter the collection and treatment. In samples taken from collected waste or from e.g., SWDS the moisture content of each waste type will vary by moisture of co-existing waste and weather during handling.

² The range refers to the minimum and maximum data reported by Dehoust *et al.*, 2002; Gangdonggu, 1997; Guendehou, 2004; JESC, 2001; Jager and Blok, 1993; Würdinger *et al.*, 1997; and Zeschmar-Lahl, 2002.

³ 40 percent of textile are assumed to be synthetic (default). Expert judgement by the authors.

⁴ This value is for wood products at the end of life. Typical dry matter content of wood at the time of harvest (that is for garden and park waste) is 40 percent. Expert judgement by the authors.

⁵ Natural rubbers would likely not degrade under anaerobic condition at SWDS (Tsuchii *et al.*, 1985; Rose and Steinbüchel, 2005).

⁶ Metal and glass contain some carbon of fossil origin. Combustion of significant amounts of glass or metal is not common.

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 6. Clasificación de sitios de deposición de desechos sólidos y factor de corrección de metano (MCF).

TABLE 3.1 SWDS CLASSIFICATION AND METHANE CORRECTION FACTORS (MCF)	
Type of Site	Methane Correction Factor (MCF) Default Values
Managed – anaerobic ¹	1.0
Managed – semi-aerobic ²	0.5
Unmanaged ³ – deep (>5 m waste) and /or high water table	0.8
Unmanaged ⁴ – shallow (<5 m waste)	0.4
Uncategorised SWDS ⁵	0.6
<p>¹ Anaerobic managed solid waste disposal sites: These must have controlled placement of waste (i.e., waste directed to specific deposition areas, a degree of control of scavenging and a degree of control of fires) and will include at least one of the following: (i) cover material; (ii) mechanical compacting; or (iii) levelling of the waste.</p> <p>² Semi-aerobic managed solid waste disposal sites: These must have controlled placement of waste and will include all of the following structures for introducing air to waste layer: (i) permeable cover material; (ii) leachate drainage system; (iii) regulating pondage; and (iv) gas ventilation system.</p> <p>³ Unmanaged solid waste disposal sites – deep and/or with high water table: All SWDS not meeting the criteria of managed SWDS and which have depths of greater than or equal to 5 metres and/or high water table at near ground level. Latter situation corresponds to filling inland water, such as pond, river or wetland, by waste.</p> <p>⁴ Unmanaged shallow solid waste disposal sites: All SWDS not meeting the criteria of managed SWDS and which have depths of less than 5 metres.</p> <p>⁵ Uncategorised solid waste disposal sites: Only if countries cannot categorise their SWDS into above four categories of managed and unmanaged SWDS, the MCF for this category can be used.</p> <p>Sources: IPCC (2000); Matsufuji <i>et al.</i> (1996)</p>	

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 7. Capacidad máxima de producción de metano para aguas residuales domésticas.

TABLE 6.2 DEFAULT MAXIMUM CH₄ PRODUCING CAPACITY (B₀) FOR DOMESTIC WASTEWATER
0.6 kg CH ₄ /kg BOD
0.25 kg CH ₄ /kg COD
Based on expert judgment by lead authors and on Doorn <i>et al.</i> , (1997)

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 8. Valores de factor de corrección de metano por defecto para aguas residuales domésticas.

TABLE 6.3 DEFAULT MCF VALUES FOR DOMESTIC WASTEWATER			
Type of treatment and discharge pathway or system	Comments	MCF ¹	Range
Untreated system			
Sea, river and lake discharge	Rivers with high organics loadings can turn anaerobic.	0.1	0 – 0.2
Stagnant sewer	Open and warm	0.5	0.4 – 0.8
Flowing sewer (open or closed)	Fast moving, clean. (Insignificant amounts of CH ₄ from pump stations, etc)	0	0
Treated system			
Centralized, aerobic treatment plant	Must be well managed. Some CH ₄ can be emitted from settling basins and other pockets.	0	0 – 0.1
Centralized, aerobic treatment plant	Not well managed. Overloaded.	0.3	0.2 – 0.4
Anaerobic digester for sludge	CH ₄ recovery is not considered here.	0.8	0.8 – 1.0
Anaerobic reactor	CH ₄ recovery is not considered here.	0.8	0.8 – 1.0
Anaerobic shallow lagoon	Depth less than 2 metres, use expert judgment.	0.2	0 – 0.3
Anaerobic deep lagoon	Depth more than 2 metres	0.8	0.8 – 1.0
Septic system	Half of BOD settles in anaerobic tank.	0.5	0.5
Latrine	Dry climate, ground water table lower than latrine, small family (3-5 persons)	0.1	0.05 – 0.15
Latrine	Dry climate, ground water table lower than latrine, communal (many users)	0.5	0.4 – 0.6
Latrine	Wet climate/flush water use, ground water table higher than latrine	0.7	0.7 – 1.0
Latrine	Regular sediment removal for fertilizer	0.1	0.1

¹ Based on expert judgment by lead authors of this section.

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 9. Valores de DBO estimados para aguas residuales domésticas para países y regiones seleccionadas.

TABLE 6.4 ESTIMATED BOD₅ VALUES IN DOMESTIC WASTEWATER FOR SELECTED REGIONS AND COUNTRIES			
Country/Region	BOD₅ (g/person/day)	Range	Reference
Africa	37	35 – 45	1
Egypt	34	27 – 41	1
Asia, Middle East, Latin America	40	35 – 45	1
India	34	27 – 41	1
West Bank and Gaza Strip (Palestine)	50	32 – 68	1
Japan	42	40 – 45	1
Brazil	50	45 – 55	2
Canada, Europe, Russia, Oceania	60	50 – 70	1
Denmark	62	55 – 68	1
Germany	62	55 – 68	1
Greece	57	55 – 60	1
Italy	60	49 – 60	3
Sweden	75	68 – 82	1
Turkey	38	27 – 50	1
United States	85	50 – 120	4
Note: These values are based on an assessment of the literature. Please use national values, if available. Reference: 1. Doorn and Liles (1999). 2. Feachem <i>et al.</i> (1983). 3. Masotti (1996). 4. Metcalf and Eddy (2003).			

Fuente: IPCC, 2006.

Anexo 10. Mapas de distribución de la muestra para la encuesta de uso de refrigerantes y combustibles para cocción.

