

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Escuela de Ciencias Ambientales

Ingeniería en Gestión Ambiental

Título:

Desarrollo de una propuesta de reducción de la huella de carbono en el ámbito institucional en la Municipalidad de San Isidro de Heredia para favorecer la neutralidad en carbono. Heredia, Costa Rica, 2021-2022

Trabajo final de graduación

Modalidad:

Práctica dirigida

Autor:

Pablo Andrés Navarro Arroyo

Comité asesor:

Tutor: M. Sc. Ernesto Montero Sánchez

Lectora: M. Sc. María Chaves Villalobos

Lectora: Licda. Kendy Villalobos Rodríguez

Heredia, Costa Rica

Mayo, 2023

ACTA DE APROBACIÓN

El tribunal examinador aprobó el trabajo titulado

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL ÁMBITO INSTITUCIONAL EN LA MUNICIPALIDAD DE SAN ISIDRO DE HEREDIA PARA FAVORECER LA NEUTRALIDAD EN CARBONO. HEREDIA, COSTA RICA, 2021-2022

Como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

M.Sc. Daniel Avendaño Leadem

Representante Decanato Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Dr. Federico Alice Guier

Representante de Escuela de Ciencias Ambientales

Mag. Ernesto Montero Sánchez

Tutor

M.Sc. María Chaves Villalobos

Lectora

Licda. Kendy Villalobos Rodríguez

Lectora

Pablo Navarro Arroyo

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 22 de agosto de 2022

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *Desarrollo de una propuesta de reducción de la huella de carbono en el ámbito institucional en la Municipalidad de San Isidro de Heredia para favorecer la neutralidad en carbono. Heredia, Costa Rica, 2021 2022*, sustentado por Pablo Andrés Navarro Arroyo.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Nacional de Costa Rica.

X

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

Tabla de contenido

Resumen	8
1. Introducción	9
1.1. Antecedentes	9
1.2. Problema	11
1.3. Justificación	13
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Marco conceptual	15
3.1. La problemática ocasionada en el clima por la actividad humana	15
3.2. El inventario de emisiones de gases de efecto invernadero	17
4. Metodología	20
4.1. Alcance de investigación	20
4.2. Descripción del proceso metodológico	20
4.2.1. Fase 1	21
4.2.2. Fase 2	23
4.2.3. Fase 3	25
5. Resultados	26
5.1. Caracterización y contexto de la organización	26
5.2. Procesos clave y principales fuentes de emisión	32
5.2.1. Edificio Administrativo Central	33
5.2.2. Escuela Municipal de Música	33
5.2.3. Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	33
5.2.4. Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos	34
5.2.5. Centro de Acopio	34
5.2.6. Cementerio Municipal	34
5.2.7. Plantel Municipal	34
5.2.8. Bodega de vías	35
5.3. Estimación de la huella de carbono institucional	35
5.3.1. Estimación de las emisiones de GEI por Alcance 1	35
5.3.1.1. Estimación de las emisiones por combustibles fósiles	35
5.3.1.2. Estimación de las emisiones por aceites lubricantes	35
5.3.1.3. Estimación de las emisiones por aguas residuales	36
5.3.1.4. Estimación de las emisiones por gases refrigerantes	36

5.3.1.5. Estimación de las emisiones por extintores	37
5.3.3. Estimación de las emisiones de GEI por Alcance 2	38
5.4. Estimación de la incertidumbre de los datos	38
5.4.1. Estimación de la incertidumbre de emisiones por combustibles fósiles	38
5.4.2. Estimación de la incertidumbre de emisiones por aceites lubricantes	39
5.4.3. Estimación de la incertidumbre de emisiones por aguas residuales	40
5.4.4. Estimación de la incertidumbre de emisiones por gases refrigerantes	40
5.4.5. Estimación de la incertidumbre de emisiones por agentes extintores	41
5.4.6. Estimación de la incertidumbre de emisiones por consumo de electricidad	42
5.5. Acciones que se plantearon para la reducción de las emisiones	42
6. Discusión	44
6.1. Caracterización de la organización	44
6.2. Procesos clave y principales fuentes de emisión	44
6.3. Huella de carbono institucional	44
6.4. Recomendaciones aceptadas para reducir las emisiones	47
7. Conclusiones y recomendaciones	47
10. Referencias bibliográficas	49
11. Anexos	53

Índice de cuadros

Cuadro 1.	29
Arquitectura organizativa de la Municipalidad de San Isidro, por unidad orgánica y según su función	29
Cuadro 2.	31
Distribución de la cantidad de personas que trabajan en la Municipalidad de San Isidro, los días de actividad y la jornada laboral por edificio durante el año 2020	31
Cuadro 3.	32
Fuentes de emisión detectadas (en color verde) en la Municipalidad de San Isidro por edificio en el año 2020	32
Cuadro 4.	35
Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el consumo de combustibles fósiles durante el año 2020, según la fuente de emisión	35
Cuadro 5.	36
Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el uso de aceites lubricantes durante el año 2020, según la fuente de emisión	36

Cuadro 6.	36
Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por generación de aguas residuales durante el año 2020, según la fuente de emisión	36
Cuadro 7.	37
Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por gases refrigerantes de equipos durante el año 2020, según la fuente de emisión	37
Cuadro 8.	37
Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el uso de extintores durante el año 2020, según la fuente de emisión	37
Cuadro 9.	38
Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el consumo de electricidad durante el año 2020, según la fuente de emisión	38
Cuadro 10.	43
Matriz de priorización de las acciones de mitigación, según los criterios técnico-ambientales, económicos y político-sociales, para las cinco medidas propuestas	43

Índice de figuras

Figura 1.	28
Mapa de los procesos que se llevan a cabo en la Municipalidad de San Isidro como gobierno local, contemplando sus entradas y salidas	28
Figura 2.	39
Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por combustibles fósiles	39
Figura 3.	39
Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por aceites lubricantes	39
Figura 4.	40
Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por aguas residuales	40
Figura 5.	40
Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por gases refrigerantes	41
Figura 6.	41
Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por agentes extintores	41
Figura 7.	42
Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por consumo de electricidad	42
Figura 8.	44
Distribución porcentual que le corresponde a cada una de las fuentes de emisión contabilizadas en el inventario de la Municipalidad de San Isidro durante el año 2020	45
Figura 9.	45

Distribución porcentual que le corresponde a cada uno de los edificios administrados por la Municipalidad de San Isidro y a los Alcances contabilizados durante el año 2020	45
---	----

Índice de mapas

Mapa 1.	27
Ubicación del cantón de San Isidro (área de color rojo) en la provincia de Heredia y en Costa Rica	27
Mapa 2.	28
Ubicación de las edificaciones administradas por la municipalidad en el cantón de San Isidro de Heredia, Red Vial, 2005	28

Índice de anexos

Anexo 1.	53
Entrevista a la encargada de la Unidad Técnica de Gestión Ambiental de la Municipalidad de San Isidro sobre los procesos que se llevan a cabo y las fuentes de emisión	53
Anexo 2.	53
Entrevista a las personas que se encargan de cada edificio administrado por la Municipalidad de San Isidro sobre los procesos que se llevan a cabo y las fuentes de emisión.	53
Anexo 3.	56
Observaciones o hallazgos realizados durante las visitas de campo a la Municipalidad de San Isidro	56
Anexo 4.	57
Contabilización del consumo de combustibles fósiles en la Municipalidad de San Isidro por vehículo durante el año 2020	57
Anexo 5.	58
Contabilización del uso de aceites y lubricantes en la Municipalidad de San Isidro para el mantenimiento de cada vehículo durante el año 2020	58
Anexo 6.	59
Contabilización de la capacidad de refrigerante en cada vehículo de la Municipalidad de San Isidro durante el año 2020	59
Anexo 7.	59
Inventario de los equipos refrigerantes registrados en la Municipalidad de San Isidro, según su ubicación y que se utilizan durante el año 2020	59
Anexo 8.	60

Inventario de los extintores registrados en la Municipalidad de San Isidro y su ubicación durante el año 2020	60
Anexo 9.	61
Registro del consumo de electricidad en la Municipalidad de San Isidro por edificio durante el año 2020	61
Anexo 10.	62
Factores de emisión y PCG que se utilizan para la estimación de las emisiones de GEI, según la fuente de información y el año de la referencia	62
Anexo 11.	62
Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el consumo de combustibles fósiles	62
Anexo 12.	63
Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el uso de aceite lubricante	63
Anexo 13.	63
Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por la generación de aguas residuales	63
Anexo 14.	64
Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el uso de equipos refrigerantes	64
Anexo 15.	64
Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por la instalación de extintores	64
Anexo 16.	64
Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el consumo de electricidad	64
Anexo 17.	64
Distribución de la huella de carbono según la fuente de emisión	64
Anexo 18.	65
Distribución de la huella de carbono según el edificio municipal	65
Anexo 19.	65
Distribución de la huella de carbono según el alcance	65

Resumen

Actualmente, se ha detectado en todo el planeta un aumento en el promedio de las temperaturas por el incremento de la concentración de distintos gases de efecto invernadero en la atmósfera, producto de la actividad humana. Para hacer frente a esta situación, Costa Rica ha llevado a cabo iniciativas importantes para comprometerse hacia la neutralidad en carbono e involucrarse ante el cambio climático. Una de ellas es el conocido como Plan Nacional de Descarbonización y también otras herramientas que éste necesita para cumplir con su función, como por ejemplo el Programa de Gestión Ambiental Institucional y un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, en el cual se centra el foco del presente estudio.

Este inventario permite cuantificar las emisiones de la organización según sus actividades y formular estrategias de mitigación del cambio climático. Su aplicación en las municipalidades del país ha contribuido con el cumplimiento de los objetivos del mencionado Plan Nacional de Descarbonización, removiendo un total de 407 000 t CO_{2eq} desde 2012. Por lo que el objetivo de este trabajo se centra en desarrollar una propuesta para reducir la huella de carbono institucional de la Municipalidad de San Isidro de Heredia para el año 2020, mediante un inventario de emisiones realizado bajo las directrices de la norma INTE B5 y el Programa País Carbono Neutralidad 2.0, para que así cumpla con los requisitos del PGAI.

De esta forma, se realizó el estudio abarcando las ocho edificaciones administradas por la municipalidad, incluyendo las emisiones de sus vehículos, aguas residuales, aires acondicionados y extintores, conocidas como Alcance 1, y las del consumo de electricidad o Alcance 2. El proceso metodológico abarcó aspectos como la definición del alcance del inventario, la identificación de las fuentes de emisiones directas e indirectas, los gases de efecto invernadero detectados, recopilación de datos e información secundaria, el cálculo de las emisiones, la evaluación de la incertidumbre y la definición de las posibles acciones de mitigación.

Como resultado se obtuvo que, la Municipalidad de San Isidro, emite a la atmósfera un total de 141.55 t CO_{2eq} con una incertidumbre de ± 4.26 , como resultado de sus actividades institucionales. En esta ocasión, el uso de combustibles fósiles figura como el principal contribuyente a este dato en un 97.31 %, debido a las funciones que cumple el Plantel Municipal, como puede ser la recolección de residuos sólidos en el cantón, el mantenimiento de las áreas verdes y el transporte del personal administrativo. Por lo tanto, es en esta área donde se deben centrar los esfuerzos para reducir las emisiones y las propuestas de medidas de mitigación, de las cuales se recomienda mejorar la administración y gestión de la flota vehicular, reducir el uso de vehículos para el transporte e instalar mecanismos o sistemas que fomenten el ahorro de combustible.

1. Introducción

1.1. Antecedentes

En la actualidad, se ha detectado en todo el planeta un aumento en el promedio de las temperaturas debido al incremento de la concentración de distintos gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, producto de la incesante actividad humana (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2020a). Como lo indica la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) (2021), la concentración global de dióxido de carbono alcanzó durante el año 2020 un total de 415.13 ppm (mg/m^3) en comparación con las 412.40 ppm para el mismo periodo del año anterior, lo que muestra una clara tendencia hacia el aumento. Esto se puede apreciar en las concentraciones de metano (de 1874.6 ppb [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] en 2019 a 1892.3 ppb en 2020) y óxido nitroso (de 332.3 ppb en 2019 a 333.6 ppb en 2020), lo que ha llevado a muchos países a tomar medidas para reducir sus emisiones.

Este es el caso de lo sucedido en México, donde se ha elaborado un modelo de distribución espacial, temporal y de especialización (DiETE) del Inventario de Emisiones de México con año base en el 2008 y que tiene el objetivo de reducir la exposición poblacional a contaminantes ambientales. Este consiste en que a partir del inventario anual del 2008 se obtienen las emisiones anuales por municipio de siete contaminantes atmosféricos y se expresan mediante tres tipos de fuentes. Esta metodología ha permitido presentar un modelo de emisiones que describe la metodología y los programas útiles para utilizar el inventario anual de emisiones para obtener otros recursos o modelizaciones (García *et al.*, 2018).

Asimismo, en el municipio de Ranchuelo de la provincia de Villa Clara en Cuba, se llevó a cabo un inventario de emisiones atmosféricas de las fuentes fijas y del flujo vehicular, con el objetivo de cuantificar las emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. Sus resultados permitieron actualizar los inventarios de emisiones previos, elaborar las propuestas de acciones para la reducción de emisiones y crear bases para la modelación de la dispersión de los contaminantes y su evaluación. Para esto, se utilizó un método de cálculo que se basa en los factores de emisión para determinar la tasa de los contaminantes en ambas fuentes (Núñez *et al.*, 2018).

En Costa Rica se han llevado a cabo iniciativas importantes para un compromiso hacia la neutralidad en carbono y la intervención del Estado ante el cambio climático, como la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), establecida en el año 2009 y que busca responder a este problema mundial con un enfoque nacional, que requiere de una fuerte acción, participación y apropiación por parte de los diferentes actores involucrados, con tal de alcanzar el carbono neutro para el año 2021. Su objetivo es reducir los impactos, tanto sociales como ambientales y económicos del cambio climático, mediante el desarrollo sostenible y con iniciativas de mitigación

y acciones de adaptación, que permitan una mejora en la calidad de vida de los habitantes y los ecosistemas del país (Ministerio de Ambiente y Energía [Minae], 2009).

Aunado a esta estrategia, también se ha presentado más recientemente el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, que sintetiza las acciones para potenciar la descarbonización de la economía en Costa Rica, para esto, se tomó una visión a largo plazo para contar con una economía descarbonizada en el año 2050. Este plan, junto con otras políticas e instrumentos climáticos de reducción de emisiones y adaptación a impactos climáticos, dotará al país de herramientas para mejorar la resiliencia en áreas como la infraestructura, producción, turismo, recurso hídrico, biodiversidad y salud. En conjunto esto permite transformar el modelo económico, social y territorial costarricense (Dirección de Cambio Climático [DCC], 2018a).

Por lo tanto, para alcanzar el objetivo de la ENCC y en concordancia con el eje 5 (Desarrollo de Procesos de Bajas Emisiones) del Plan Nacional de Descarbonización, suele utilizarse un instrumento de planificación conocido como Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI), que comienza con la elaboración de un diagnóstico ambiental de la organización, a partir del cual se priorizan, establecen e implementan las medidas de prevención, mitigación, compensación o restauración de los impactos ambientales, ya sea a corto, mediano o largo plazo. Esta herramienta se ha normalizado para su implementación mediante el Decreto Ejecutivo n.º 36499-S-Minae para la Elaboración de Programas de Gestión Ambiental Institucional en el Sector Público de Costa Rica, que contiene los lineamientos para su formulación, actualización e implementación (Decreto Ejecutivo n.º 36499, 2011).

Uno de los pasos que contiene esta guía para elaborar los PGAI es el diagnóstico energético y el inventario de gases de efecto invernadero en el ámbito institucional, que permiten recopilar información más detallada con respecto al cambio climático y la energía (Minae, 2011). Para realizar este inventario de gases de efecto invernadero se emplea comúnmente un instrumento conocido como Programa País Neutralidad en carbono (PPCN) 2.0 en la Categoría Organizacional, este se ha desarrollado por la Dirección de Cambio Climático y el Ministerio de Ambiente y Energía y consiste en un mecanismo voluntario al que se pueden unir todo tipo de organizaciones, empresas, comunidades o eventos, para que realicen su reporte de GEI, demuestren sus acciones de reducción, remoción y compensación de emisiones, así como el fortalecimiento de la descarbonización (Mora y Equipo Técnico Partnership for Market Readiness Costa Rica [PMR], 2020).

Además, se realiza un proyecto para elaborar el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Ingei), que lleva a cabo el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), con datos que abarcan desde el año 1990 hasta el 2017, como una herramienta central para el avance hacia las metas país en materia de mitigación al cambio climático. Esto mediante las directrices del Grupo

Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y para obtener como resultado las fuentes de emisión y las emisiones que estas han efectuado en el país durante un año (DCC, s. f.a).

En el ámbito local se puede destacar el proyecto piloto realizado por la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) (2017) en cooperación con el Minae y la DCC con el nombre de Proyecto Acción Clima II, que tiene el objetivo de apoyar al Gobierno de Costa Rica en el desarrollo de capacidades y herramientas para una gobernanza climática y que así logre sus objetivos climáticos internacionales. Una de las acciones que se implementan en este trabajo conjunto es la elaboración de inventarios de GEI en las municipalidades del país bajo la modalidad establecida en el PPCN 2.0 para cantones y distritos, de forma que se obtuvo como resultado el fortalecimiento de las capacidades de los gobiernos locales en materia de cambio climático, el levantamiento de inventarios de GEI, la construcción de un plan de acción para atender las principales fuentes y el intercambio de experiencias (DCC, 2020).

A este proyecto piloto se unieron, a través de un concurso, las municipalidades de San José, Belén, Desamparados, La Unión, Golfito y el distrito de Monteverde (DCC, 2020), a las que después se le incorporaron las municipalidades de San Carlos, Cartago, Pérez Zeledón, Pococí, Goicoechea, San Ramón, Santa Cruz, Nicoya, Montes de Oca, Oreamuno, Osa, Quepos, Cañas, Parrita y Zarcerro (El País, 2019). Además de esta importante contribución, según la Unidad de Monitoreo y Control de Digeca, en el país hay, para el año 2020, un total de 61 gobiernos locales que han presentado su PGAI, de los cuales solamente 11 incluyen su inventario de GEI dentro de este, estos son Belén, Cañas, Cartago, Coto Brus, Esparza, Grecia, Osa, Pococí, Quepos, San José y Santo Domingo (D. Ureña, comunicación personal, 10 de mayo de 2021).

Con respecto a la Municipalidad de San Isidro de Heredia, se puede afirmar que esta se encuentra en la posición n.º 72 del Índice de Competitividad Cantonal en Calidad de Vida y en la posición n.º 31 del Esfuerzo Municipal en Mitigación Ambiental, según datos de la Universidad de Costa Rica (UCR) (2018), lo que muestra que hay importantes oportunidades de mejora en temática ambiental que se pueden realizar en el cantón. Además, como indica Marín (2020), en la municipalidad no cuentan con un plan de gestión de residuos ni con un inventario de GEI, aunque si poseen su diagnóstico ambiental inicial como parte del PGAI, que contiene una descripción de las principales fuentes de emisión y su impacto ambiental en el lugar. En este mismo estudio se destaca que para reducir las emisiones es indispensable la elaboración de un inventario de GEI en el ámbito institucional para que se tomen medidas de mitigación y adaptación.

1.2. Problema

El año 2020 ha formado parte de la década más cálida de la historia y desde 2015 se han roto récords de calentamiento cada año, la temperatura global promedio alcanzó en 2020 los 1.2 °C

por encima del nivel preindustrial y existe al menos un 20 % de posibilidad de que se superen los 1.5 °C para 2024, por lo que seguramente el año 2021 no será una excepción (ONU, 2020b). El territorio de Costa Rica no es una excepción frente a estos cambios, ya que en el año 2015 se encontró un incremento en la temperatura del país de 2 °C con respecto al año anterior, mientras que en el año 2016 se observó un retraso en la época de lluvia como resultado del cambio climático (Guerrero, 2016), por lo que se han originado iniciativas internacionales para frenar estas alteraciones en el clima como el Protocolo de Kioto o el Acuerdo de París.

Es así como durante el año 2002 se aprueba en Costa Rica el Protocolo de Kioto mediante la Ley n.º 8219 y se sustituye por el Acuerdo de París que se ratifica en el 2016, con esto el país acepta respetar y fortalecer el régimen internacional para atender el cambio climático, lo cual se refleja en un instrumento de la política pública oficializado en 2012 y conocido como el PPCN, del que se habló más detalladamente en los antecedentes (Guevara, 2017). A este programa se han unido, en todo el país, un total de más de 200 organizaciones y empresas (DCC, s. f.b), además de un proyecto piloto que incorporó a 20 municipios y 2 distritos, esto hasta el año 2018 cuando pasó a llamársele PPCN 2.0 e incluye una metodología oficial para hacer los inventarios de GEI y genera nuevos sistemas de métrica para esta herramienta (El País, 2019).

Sin embargo, de estos 20 gobiernos locales solamente 8 forman parte de la Gran Área Metropolitana (GAM) del total de 31 que contiene (El País, 2019). Además, como se mencionó en los antecedentes, para el año 2020 el 74 % de las municipalidades del país cuentan con su propio PGAI, pero tan solo el 18 % tienen su propio inventario de GEI (D. Ureña, comunicación personal, 10 de mayo de 2021). Esta situación es crítica, debido a que es en esta zona de la GAM donde se concentran las principales actividades industriales, con el 70 % de la flota vehicular, 60 % de la población y el 85 % de la industria, lo que se vio reflejado en el inventario de emisiones del 2011, donde se reportan 418 663 t de monóxido de carbono y 64 640 t de óxidos de nitrógeno emitidas durante ese periodo y en esta misma área (Alfaro *et al.*, 2021).

En este mismo tema, el Informe del Estado de la Nación (2020), señala que los Índices de Desempeño Ambiental del 2020, referentes al cambio climático y a las emisiones de contaminantes, han descendido con respecto al año 2018, lo que demuestra cierta falta de esfuerzos especialmente en cuanto a las emisiones. También expresan la preocupación por resolver los problemas de contaminación del aire y emisiones en el país bajo el marco del impacto negativo al ambiente y la salud humana y los compromisos internacionales, aunque se centra en las emisiones provenientes del sector transporte. Respecto a esto, el IMN (2015) muestra información más detallada indicando que, en el año 2015, las emisiones del país fueron de 10 881.68 t CO_{2eq} (toneladas de dióxido de carbono equivalente), una cifra menor a la del año 2012 (de 11 807.24 t CO_{2eq}) y que le da fin a la tendencia al aumento que se traía desde el 2010 (con 11 440.87 t CO_{2eq}).

La Municipalidad de San Isidro de Heredia se encuentra dentro del área de la GAM, contribuyendo a las emisiones que ocurren en el lugar, pero a pesar de esta situación todavía no forma parte de las 8 municipalidades de esta área que integran el PPCN y tampoco cuenta con su propio inventario de emisiones. Debido a lo anterior, se puede afirmar que, el problema es la falta de un instrumento de cuantificación de las emisiones de GEI que emite el gobierno local mencionado, durante el año 2020 y en el ámbito institucional, que haga un aporte al PGAI y apoye los esfuerzos realizados por el PPCN 2.0, lo que permitirá en el futuro ingresar a este programa y que esto lleve a que se efectúe una reducción de las emisiones, contribuyendo a enfrentar el cambio climático y en concordancia con la ENCC, el Plan de Descarbonización y cualquier otro marco normativo y estratégico nacional vinculante.

1.3. Justificación

Un inventario de emisiones de GEI es, una herramienta que incluye la suma de un conjunto de datos de las emisiones ocasionadas por cierta actividad, que permite cuantificar estas emisiones por fuente o actividad de interés para proporcionar información sobre las actividades que causan las emisiones, informar y orientar la toma de decisiones sobre salud y protección al ambiente, formular estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y evaluar el desempeño de una actividad, sector o región. En conjunto esto posibilitará el cumplimiento de acuerdos internacionales y el comercio de derechos de emisión (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá s. f.; Gaitán y Cárdenas, 2017; Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (Digeca) s. f.a).

Como apunta el diario El País (2019), la aplicación de esta herramienta mediante el PPCN en un total de 20 municipalidades que abarcan el 38 % del territorio de Costa Rica y el 43 % de la población del país, ha contribuido con el cumplimiento de los objetivos del Plan Nacional de Descarbonización. Según los datos recolectados por el PPCN, desde 2012 se han conseguido remover 407 000 t CO_{2eq}, junto con la reducción de 244 000 t CO_{2eq} y la compensación de otras 236 000 t CO_{2eq}, la mayoría de estas últimas con créditos del Fondo de Financiamiento forestal (Fonafifo), para un total de 887 000 t CO_{2eq} que ya no contribuirán a aumentar los efectos del cambio climático, este beneficio se cifra por el Banco Mundial como un aporte de al menos \$37 000 000.

El empleo de este mecanismo en gobiernos locales y diversas empresas u organizaciones ha mostrado ser beneficioso, ya sea en el ámbito social, ambiental o económico, debido a que promueven estrategias hacia un desarrollo de acuerdo con el Plan Nacional de Descarbonización, tienen un alto potencial de mitigación en el ámbito local y de reducción de emisiones en el ámbito nacional, sirven para la formulación de un plan de acción cantonal, planificación urbana, sensibilización de la población, implementación de energías renovables y eficiencia energética y la gestión integral de residuos (García, 2021). Asimismo, en el ámbito legal contribuye con el

cumplimiento del Decreto Ejecutivo n.º 36499 (2011), que expresa que toda institución del sector público costarricense debe contar con un PGAI completo y actualizado.

Como indica el Banco Mundial (2017), un calentamiento peligroso del planeta no es solo un desastre ambiental, también representa una dificultad económica y social. Por esto, atribuir un valor financiero a las emisiones de carbono es una forma de abordar el cambio climático, como un incentivo para que se cambien los patrones de inversión, producción y consumo y se reduzca la contaminación y la congestión del aire. Se ha previsto que, para el año 2020, el precio del carbono será de entre \$40 y \$80 por tonelada de CO₂, por lo que todo proyecto o programa que contribuya con la reducción en las emisiones de GEI representa un beneficio socioambiental y financiero, no solo en el ámbito local, sino también en el ámbito nacional y hasta mundial.

Con respecto a la viabilidad para la elaboración del inventario de GEI en el ámbito institucional en la Municipalidad de San Isidro de Heredia, cabe destacar que cuenta con todos los recursos necesarios para que se lleve a cabo, con el tiempo suficiente para alcanzar las metas propuestas y con el apoyo de la alcaldía municipal, así como con el de la Unidad Técnica de Gestión Ambiental liderada por la Licda. Kendy Villalobos Rodríguez, cuyo departamento cuenta con la información y datos necesarios para progresar en las diferentes etapas del proyecto. Además, el investigador se encuentra en la total disposición de contribuir con el desarrollo del presente trabajo, con tal de proveerle a la municipalidad un insumo que pueda servirle para detectar oportunidades de mejora que le permitan avanzar hacia el desarrollo sostenible.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de reducción de la huella de carbono del año 2020 de la Municipalidad de San Isidro de Heredia en el ámbito institucional, mediante un inventario que cuantifique las emisiones de gases de efecto invernadero utilizando la norma INTE B5, para que se establezca una línea base y el cumplimiento con los requisitos del PGAI.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar procesos clave que lleva a cabo la municipalidad y sus principales fuentes de emisión, mediante visitas de campo al sitio de estudio, para que estos puntos puedan distinguirse y priorizarse.
- Formular las estimaciones, valoraciones y cálculos necesarios sobre los gases de efecto invernadero, mediante la elaboración de instrumentos para su contabilización, el uso de factores de emisión y la aplicación de diversas fórmulas, para obtener la huella de carbono de la institución.

- Elaborar una propuesta de reducción de emisiones en los aspectos más significativos, mediante la priorización de acciones, buenas prácticas o herramientas más eficientes, de forma que se reduzca el impacto en el ambiente.

3. Marco conceptual

3.1. La problemática ocasionada en el clima por la actividad humana

Para comenzar, es necesario definir el punto de partida del problema, como en este caso la contaminación del aire. Para el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2018), la contaminación del aire es:

La degradación de la calidad del aire con efectos negativos sobre la salud humana y el entorno natural o construido debido a la introducción, por procesos naturales o la actividad humana, de sustancias en la atmósfera que tienen efectos dañinos directos o indirectos (p. 542).

Este tipo de contaminación suele ocasionarse por fuentes móviles, como el tráfico vehicular o por fuentes fijas de combustión, como industrias, usos residenciales, aclimatación y procesos de eliminación de residuos. Todas estas fuentes pueden emitir, de forma directa, los contaminantes primarios y estos, a la vez, pueden generar contaminantes secundarios mediante las transformaciones y reacciones físicas y químicas que sufren, algunos ejemplos son el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, plomo, ozono, compuestos orgánicos volátiles o partículas en suspensión (Ballester, 2005).

Los gases de invernadero o GEI son componentes liberados hacia la atmósfera con un origen, tanto natural como antropógeno. En la Tierra los más comunes son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono troposférico (O_3), así como otros creados por el ser humano que pueden ser los halocarbonos (HC), sustancias con contenidos de cloro y bromo, los regulados por el Protocolo de Montreal como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Estos pueden clasificarse en GEI directos (CO_2 , CH_4 , N_2O y compuestos halogenados) y GEI indirectos (óxidos de nitrógeno o NO_x , compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y monóxido de carbono o CO), los primeros son los que se generan directamente desde los focos de emisiones, mientras que los segundos son precursores del ozono troposférico y en la atmósfera se transforman en los primeros (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2007).

El efecto invernadero es un proceso natural que ocurre cuando estos gases se encuentran acumulados en la troposfera y absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, atrapando el calor dentro del sistema (Guerra, 2021). Al incrementarse la concentración de estos gases, la opacidad de la atmósfera también se ve aumentada, lo que genera un desequilibrio en la radiación emitida por la Tierra hacia el espacio que se compensa con un incremento en la temperatura de la superficie (Ideam, 2005).

Estas variaciones en la temperatura del planeta provocan lo que se conoce como cambio climático, definido por el IPCC (2018) como:

Un cambio en el estado del clima que puede ser identificado por cambios en la media o por la variabilidad de sus propiedades y que persiste por un extenso periodo de años o hasta décadas, este puede ser ocasionado por procesos naturales internos o cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o el uso de la tierra (p. 544).

Además, se encuentra el concepto de variabilidad climática que:

Se refiere a variaciones en el estado promedio del clima en todas las escalas espaciales y temporales más allá de la de los eventos climáticos individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (IPCC, 2018, p. 546).

Los cambios en el clima global tienen numerosos efectos que pueden observarse en el ambiente, como la disminución en el tamaño de los glaciares, derretimiento prematuro del hielo de los ríos y lagos, cambios en el hábitat de plantas y animales y árboles u otros cultivos que florecen antes de tiempo. Además, existen otros efectos que se predijeron hace varios años, pero que actualmente son cada vez más perceptibles, como la pérdida del hielo marino, aumento acelerado del nivel del mar, muerte de los arrecifes de coral y olas de frío o de calor más intensas. Se prevé que haya un incremento en la media de la temperatura global durante los próximos años y que el alcance de los efectos del cambio climático varíe con el paso del tiempo, así como con la capacidad de mitigación y adaptación de los sistemas ambientales y sociales (Global Climate Change, 2017).

Como indica el IPCC (2018), estas medidas de mitigación consisten en: “Tecnologías, procesos o prácticas que contribuyen a la reducción de las emisiones o la mejora de los sumideros de GEI, como pueden ser las energías renovables, procesos de minimización de residuos y prácticas de desplazamiento en transporte público” (p. 554). Por otro lado, definen a la adaptación como: “El proceso de ajuste al clima actualmente esperado y sus efectos, con el fin de moderar el daño o aprovecharse de las oportunidades beneficiosas, en el caso de los sistemas humanos” (IPCC, 2018, p. 542). Por esto, en este estudio se toma como una medida de mitigación todas aquellas acciones realizadas por la institución que contribuyan con reducir sus emisiones, ya sea mediante el ahorro, mejora de la eficiencia o el cambio de un equipo por otro que libere menos gases al ambiente.

En la actualidad, según lo que expresa la ONU (2019), es alarmante la evidencia existente de que ya se pueden haber alcanzado algunos puntos de inflexión que darían lugar a cambios irreversibles en algunos ecosistemas importantes e incluso en el sistema climático del planeta. Por lo tanto, en un informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5 °C

respecto a los niveles preindustriales, se destaca que limitar el aumento de las temperaturas globales hasta ese nivel puede evitar que se provoque una serie de daños sobre el ambiente o que al menos estos no sean tan drásticos, como si el límite se estableciera en 2 °C. Esta meta requiere de cambios rápidos, de gran alcance y sin precedentes en todos los aspectos de la sociedad con tal de limitar el cambio climático a estos niveles.

Por lo tanto, con tal de llevar a cabo medidas de mitigación y adaptación al cambio climático y para alcanzar la meta de 1.5 °C, se han establecido múltiples compromisos internacionales como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) realizada en 1992, así como el Protocolo de Kioto en 1995 y el Acuerdo de París en 2016, que se centran en la reducción de las emisiones y en enfrentar el cambio climático (ONU, 2019).

3.2. El inventario de emisiones de gases de efecto invernadero

Un inventario de emisiones es, como se mencionó en apartados anteriores, una fotografía o instantánea de un momento específico, con el objetivo de identificar aumentos o disminución en las emisiones y establecer acciones específicas de reducción. Para realizarlo deben seguirse algunos pasos, como la definición del alcance del inventario, indicar las fuentes de emisión directas o indirectas, establecer los gases por evaluar en el inventario y su año base (Digeca, s. f.a).

Como una organización puede estar compuesta por una o varias instalaciones y cada una tiene sus propias fuentes de emisión, es necesario que se consoliden las emisiones y remociones de GEI al nivel de instalación. Esto se puede hacer mediante un enfoque de control considerando todas sobre las cuales tienen control operacional o control financiero o mediante un enfoque de participación donde responde solo a la parte que le corresponde de sus instalaciones (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2006).

Además, se deben establecer los límites operativos, que incluyen las emisiones asociadas con las operaciones de la organización. Estas pueden clasificarse en emisiones directas o de Alcance 1 que ocurren por fuentes que son propiedad o están controladas por la entidad (combustión de calderas, hornos o vehículos), emisiones indirectas o de Alcance 2 que se deben a la electricidad que se compra y consume la organización (son emisiones que no ocurren dentro de esta) y en otras emisiones indirectas o de Alcance 3 que se generan por actividades de la organización, pero ocurren en fuentes fuera de ella y no son de su propiedad ni puede controlarlas (rellenos sanitarios o disposición de residuos), por lo que este último no es obligatorio mientras que es estrictamente necesario realizar los primeros dos alcances (Ideam *et al.*, 2015).

En la organización también se deben identificar y documentar las fuentes de GEI que contribuyen con sus emisiones directas, lo mismo debe hacerse con las fuentes de emisiones indirectas, documentando por separado a los proveedores de electricidad, calor o vapor que

importa y consume la entidad. Las otras fuentes indirectas de emisión que pertenecen a otras empresas también se deben contabilizar por separado. Además, en caso de que se cuantifiquen remociones de GEI, se debe identificar y documentar los sumideros que contribuyen con estas (ISO, 2006).

Según lo indican Mora y PMR (2020) en el PPCN 2.0, los GEI que deben reportarse son principalmente el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxidos nitrosos (N_2O), perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC), hexafluoruro de azufre (SF_6), trifluoruro de nitrógeno (NF_3), hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y clorofluorocarbonos (CFC), aunque esto depende de cada caso particular. Si se desea reportar algún otro gas que también provoque el efecto de invernadero que no esté en la lista anterior debe mantenerse de forma separada a estos.

El año base histórico del inventario para las emisiones y remociones de GEI se establece con el propósito de realizar una comparación entre este y el año del inventario, así como para cumplir con los requisitos del programa u otros usos que se haya previsto. Si no hay disponible información o datos suficientes sobre el historial y las cantidades emitidas o removidas de GEI, puede utilizarse el primer periodo del inventario o año inventario como el año base. Para que sea posible su determinación, hay que contar con datos representativos de la actividad de la organización durante un año, esta información debe estar disponible y ser verificable (ISO, 2006).

Posteriormente y para efectuar el cálculo de las emisiones, es necesario que se determine la metodología de cuantificación para seguir, que preferiblemente minimice la incertidumbre y produzca resultados exactos, coherentes y que puedan reproducirse. Para esto, pueden hacerse los cálculos con base en datos de actividad multiplicados por un factor de emisión de GEI, utilizando modelos ya establecidos, correlaciones específicas para la instalación o mediante relaciones con balances de masas. Según la que se seleccionó se pueden determinar los datos que se necesitan recopilar, así como la selección de los factores de emisión apropiados y actualizados en caso de que estos sean necesarios (ISO, 2006).

Los datos obtenidos sobre los GEI permitirán determinar, según el Potencial de Calentamiento Global (PCG) de cada gas, lo que se conoce como dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). Este valor consiste, de acuerdo con el IPCC (2018), en la cantidad equivalente de otro GEI, como CH_4 o N_2O , pero convertido a unidades de CO_2 y que tendría el mismo efecto en la atmósfera proporcionalmente. En general, esta conversión se realiza al multiplicar la emisión de dicho GEI por su PCG correspondiente a un horizonte de tiempo de 100 años, dando como resultado su equivalencia en CO_2 . Esta es una escala que se utiliza comúnmente para comparar las emisiones de diferentes GEI, pero no implica la equivalencia en las respuestas al cambio climático y no hay una conexión entre las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ y las concentraciones de GEI resultantes.

Para culminar con el desarrollo del inventario de emisiones de GEI se debe cumplir con una serie de requisitos establecidos por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (Inteco, 2016) que son los siguientes:

- Alcance para demostrar la neutralidad en carbono
 - Límites de la organización y límites operativos
- Recursos, funciones, responsabilidad y autoridad
- Requisitos para la evaluación del inventario de GEI
 - Etapas de la cuantificación: identificación de fuentes y sumideros de GEI, selección de la metodología de cuantificación, selección y recopilación de datos de la actividad, selección o desarrollo de los factores de emisión, cálculo de las emisiones.
 - Evaluación de la incertidumbre

Sobre este último requisito, acerca de la estimación de la incertidumbre de los datos, la Guía metodológica para la estimación y análisis de la incertidumbre de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero de la DCC (2019), se refiere a la incertidumbre como un parámetro no negativo que especifica cuán dispersos se encuentran los valores atribuidos a una medida, a partir de la información que esta utiliza, lo que permite definir su precisión y la confiabilidad de los datos, ya que toda medición tiene una incertidumbre asociada. Esta guía también agiliza la estimación de la incertidumbre, pues toma en cuenta las características aplicables y adecuadas para cada sector específico, pero no puede sustituir el pensamiento crítico en la elaboración del inventario de GEI.

Además, lo que se conoce como huella de carbono es, según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) (2018), la medida con la que se indica la cantidad de GEI producidas por diversas actividades realizadas por los seres humanos, en emisiones de CO_{2eq} y su función es mostrar el impacto que, como humanidad, se produce en el planeta. Esto se debe a que toda actividad humana produce algún tipo de emisión, esta herramienta tomó una posición importante en los debates sobre el cambio climático y el desarrollo sostenible y se identificó en el Acuerdo de París como un instrumento que puede contribuir con hacerle frente al cambio climático.

En Costa Rica se han implementado algunas normas técnicas para realizar los inventarios de GEI que pretenden beneficiar a las organizaciones, gobiernos, proyectos y otras partes interesadas, lo que proporciona claridad y coherencia en la cuantificación, seguimiento, informe y validación de estos inventarios (ISO, 2006). Este es el caso de la norma ISO 14064 que detalla la contabilización de los GEI que se utilizó para desarrollar algunos aspectos de la norma INTE B5, que forma parte de las acciones de mitigación que Centroamérica está tomando, de manera conjunta, para enfrentar el cambio climático y establece los requisitos que debe cumplir una

organización para demostrar la neutralidad en carbono, convirtiéndose en la norma oficial para llevar a cabo este proceso en Costa Rica (Inteco, 2016).

El uso de estas normas para elaborar este tipo de trabajos trae beneficios como el aumento de la integridad ambiental de la cuantificación, su credibilidad, coherencia y transparencia; seguimiento del desempeño, facilita el desarrollo e implementación de estrategias, proyectos y planes de gestión y facilita los créditos y la transacción de las reducciones de emisiones. Esto para el caso de la norma ISO 14064 (2006). En el caso de la norma INTE B5 (2016) le dará una mayor oportunidad al público, consumidores y compradores a tomar sus decisiones con más información; aumenta las oportunidades para competir en el mercado de bienes y productos ambientales; mayor protección a las personas consumidoras; incrementa las acciones para reducir los efectos del cambio climático; declaraciones de neutralidad en carbono verificables y transparentes; mejoras en la gestión de la producción y reduce las interpretaciones erróneas entre distintos actores.

Por último, para plantear una estrategia de reducción de las emisiones, se pueden seguir algunos ejemplos de acciones de mitigación que se adapten a la institución, como los establecidos por la Guía práctica para la reducción de emisiones en el sector público costarricense (Digeca, s. f.b), agrupadas por temas según el uso eficiente de los vehículos, la instalación de mecanismos para el ahorro de combustibles, uso eficiente de fuentes fijas y campañas de reforestación. Entre los que suelen aplicarse más a menudo se encuentran: reducir la necesidad del uso de los vehículos; identificar el consumo actual de los combustibles; mejorar la administración de la flota vehicular; capacitar a los conductores; mantener adecuadamente los vehículos; implementar un sistema de información para transmitir los resultados; instalación de mecanismos y sistemas para ahorro; uso eficiente de fuentes fijas y otras fuentes y hasta campañas de reforestación.

4. Metodología

4.1. Alcance de investigación

El alcance de estudio abarca las ocho edificaciones de la municipalidad (K. Villalobos, comunicación personal, 6 de abril de 2021), sobre las que tiene control administrativo y operativo, ya que así resulta más fácil obtener la información necesaria y se pueden realizar modificaciones posteriores de forma sencilla. Esto incluye las fuentes de emisión por concepto de flota vehicular, aguas residuales, aires acondicionados y extintores como parte del Alcance 1 y las emisiones por el consumo de energía eléctrica como parte del Alcance 2.

4.2. Descripción del proceso metodológico

El proceso metodológico sigue un orden de secuencia lógica, por su enfoque cuantitativo, y responde a cada uno de los objetivos específicos definidos previamente, para asegurar que cada uno se desarrolle y alcance. Está compuesto de tres fases que incluyen cada uno de los pasos que

contiene la norma INTE B5 (2016) e ISO 14064 (2006), así como algunos aspectos abarcados en la *Guía para la participación en el PPCN* de la DCC (2018b).

4.2.1. Fase 1. Determinar procesos clave que lleva a cabo la municipalidad y sus principales fuentes de emisión, mediante visitas de campo al sitio de estudio, para que estos puntos puedan distinguirse y priorizarse

Paso 1: Definición del alcance del inventario

Para comenzar con la primera fase se estableció el alcance del inventario, que incluye los límites de la organización y los límites operativos, estableciendo el año base en el 2020. En la entidad se definió y documentó el objetivo de la neutralidad en carbono, con el fin de que se determinen los límites de la organización e indicar si se considera en su totalidad o solo una parte de ella, ya que en este caso está compuesta por ocho edificaciones separadas y varios vehículos automotores. Para esto, se realiza una reunión con la gestora ambiental de la municipalidad, a la que se le aplicó una entrevista no estructurada (ver Anexo 1), con preguntas que permitan conocer mejor los procesos que se efectúan dentro de la institución, así como las diferentes fuentes de GEI que tienen y los gases específicos que emite cada una.

La consolidación de las emisiones y remociones de GEI se hizo mediante un enfoque de control operacional contabilizando todas las emisiones posibles, que sean atribuibles a las operaciones sobre las que la municipalidad ejerce o mantiene un control total, de forma que se excluyan las emisiones que correspondan a operaciones sobre las que tiene una participación parcial y no tiene ningún control sobre ellas. De esta manera, se pudieron establecer y registrar en una hoja de cálculo los límites operativos que incluyen la identificación de las emisiones de GEI asociadas con las operaciones que se mencionaron.

Paso 2: Identificar las fuentes de emisiones directas e indirectas

Seguidamente, se identificaron y documentaron las fuentes de GEI que contribuyen con las emisiones institucionales directas, al igual que con las emisiones indirectas por concepto del consumo de energía eléctrica que se efectúa entre los edificios, así como las remociones realizadas de GEI. Esto mediante visitas de campo a cada uno de los edificios administrados por la municipalidad, con la guía o acompañamiento de una persona que trabaje en el lugar o que conozca bien los procesos o actividades que se llevan a cabo en el sitio.

Antes de la visita se elaboró un instrumento donde se puedan incluir las diferentes observaciones o hallazgos realizados durante estas (ver Anexo 3), siempre y cuando se relacionen con la investigación o con datos necesarios para el inventario. Además, se llevó a cabo una entrevista no estructurada a cada persona encargada de alguna actividad clave en el proceso de obtención de datos (ver Anexo 2), con preguntas individuales y específicas para cada funcionario, tomando en cuenta sus posibles conocimientos y ocupación dentro de la institución, de manera que

permitieron obtener información más detallada de los procesos que se llevan a cabo en el lugar y las fuentes de emisión y se efectuó un análisis y caracterización de cada una.

Paso 3: Indicar los gases que se evaluaron en el inventario

Una vez que se han identificado, analizado y caracterizado las fuentes, se determinó cuáles son los gases que emite cada una. Por lo tanto, los GEI se cuantificaron dentro del inventario, mediante el análisis de la información y los registros que se documentaron en hojas de cálculo durante las visitas de campo, lo que permitió conocer el origen del problema y las acciones necesarias para evaluarlo correctamente, como la búsqueda de literatura sobre una fuente específica de la que no se tiene mucha información o acerca de algún GEI que requiera de un análisis propio.

Paso 4: Recopilación de datos e información secundaria

Posteriormente, se seleccionó la metodología de cuantificación más adecuada para minimizar la incertidumbre y que así se produzcan resultados más exactos y coherentes que permitan la compatibilidad de los datos y la información. Para esto, se empleó el primer método de cuantificación, que consiste en cálculos con base en los datos de la actividad o fuente de GEI multiplicados por los factores de emisión oficializados por el IMN o el IPCC, que cuentan con respaldo nacional e internacional respectivamente y han mostrado ser de gran utilidad para realizar estas estimaciones.

Fue necesario establecer un periodo de búsqueda y recopilación de datos relacionada directamente con la municipalidad y las actividades que esta lleva a cabo, mediante la solicitud de informes institucionales, facturas de consumo, registros de mantenimiento u otros datos que sean necesarios para realizar adecuadamente los cálculos correspondientes. En conjunto toda la información recolectada se procesó, ordenó y organizó en una base de datos que se elaboró utilizando la herramienta de Microsoft Excel y según el alcance al que pertenezcan, para aplicar la cuantificación.

Por lo tanto, la recolección de los datos sobre las fuentes de emisión se realiza de la siguiente manera, los datos que se relacionan con el consumo de energía eléctrica se recopilan mediante los reportes que contienen las facturas, la información de los extintores se obtiene del inventario que contiene las características de estos. Los equipos refrigerantes requerirán una revisión directa en el sitio para verificar sus especificaciones. Al tratarse las aguas residuales mediante un tanque séptico, es necesario contar con los datos de la cantidad de personas presentes y los datos de la flota vehicular requerirán de un análisis manual de las facturas por combustible y una revisión de las especificaciones de cada auto para conocer su uso de refrigerante y lubricante.

4.2.2. Fase 2. Formular las estimaciones, valoraciones y cálculos necesarios sobre los gases de efecto invernadero, mediante la elaboración de instrumentos para su contabilización, el uso de factores de emisión y la aplicación de diversas fórmulas, para obtener la huella de carbono de la institución

Paso 5: Cálculo de las emisiones

Posteriormente, se desarrolló el inventario para cuantificar las emisiones de GEI según las especificaciones detalladas. Para esto, se utiliza la herramienta en Microsoft Excel de *control de Inventario de Emisiones de GEI* elaborada por la Digecca (2018) como una plantilla en donde se habrían registrado todos los datos recopilados hasta este punto, lo que permite agilizar el cálculo de las emisiones y llevar un control ordenado de todos los datos y las fuentes. En este instrumento se ubicaron los datos que se obtienen, siguiendo una clasificación por fuente y por alcance, para aplicar, de forma sencilla, las operaciones o fórmulas necesarias que permiten obtener las emisiones provenientes de cada fuente, siguiendo el proceso indicado en las Directrices del IPCC (2006) y utilizando los factores de emisión del IMN (2021) o los del IPCC que se encuentran en esas mismas directrices en caso de ser necesarios.

De esta forma, se realiza la estimación de las emisiones de GEI, según el alcance y su fuente, de la siguiente forma:

- Alcance 1:
 - Combustibles fósiles: se contabilizaron las emisiones como resultado de la combustión de gasolina (super, regular o diésel), ya sea de la flota vehicular o la maquinaria que se utiliza. Toda la información de litros de consumo se obtuvo de los registros físicos que se mantienen en los archivadores manuales para oficina en la Proveeduría Municipal (ver Anexo 4), que incluyen la factura con la cantidad de combustible, el tipo, la placa del vehículo, la fecha y el monto cobrado. Estos datos se organizaron en una hoja de cálculo para estimar las emisiones, multiplicando los litros de combustible por el factor de emisión del IMN (2021).
 - Aceites y lubricantes: se solicitó la información registrada sobre el mantenimiento de los vehículos y los cambios de aceite (en litros) que se realizan durante el año (ver Anexo 5). Este valor se multiplicó por el factor de emisión del IMN (2021) que corresponde al uso de lubricante. Sin embargo, para los vehículos que no tenían registrado el dato de la cantidad de aceite, se llevó a cabo una búsqueda en Internet para encontrar el rendimiento en km/l de combustible, multiplicarlo por la cantidad de combustible consumido durante el año y después por el uso de aceite, ya sea 0.001 l de aceite por km para los autos o 0.002 l de aceite por km para las motos.

- Aguas residuales: en los edificios de la Municipalidad de San Isidro se cuenta con tanques sépticos como sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que para la estimación de las emisiones se utilizaron los datos sobre la cantidad de personas que se encuentran en los edificios y su jornada laboral en cada uno, así se pudo determinar la cantidad de tiempo laborado total en horas y multiplicar este dato por el factor de emisión de metano de aguas residuales domésticas en tanques sépticos del IMN (2021) que, a la vez, se multiplica por el PCG del metano.
- Gases refrigerantes: se registraron las especificaciones de cada equipo refrigerante, ya sean aires acondicionados, refrigeradores o congeladores (ver Anexo 7), de manera que tomando en cuenta la cantidad y tipo de refrigerante que utiliza, se pudo multiplicar la capacidad de refrigerante por el índice de emisión del IPCC (2006) según la vida útil y el PCG de cada gas refrigerante.
- Extintores: mediante los datos registrados en el inventario de extintores de la Municipalidad, se determinaron los tipos de extintor con los que cuentan, su capacidad y el agente extintor que contienen (ver Anexo 8), lo que permitió identificar cuáles son los que emplean CO₂. Al dato de la capacidad se le aplicó el criterio del IPCC (2006) que indica que no hay recarga, se considera un 10 % por emisiones fugitivas anualmente y un 100 % si se le realiza recarga.
- Alcance 2:
 - Energía eléctrica: se recopilaron los registros de las facturas por el cobro del consumo de energía eléctrica municipal (ver Anexo 9), para multiplicar los datos de kWh por el factor de emisión establecido por el IMN (2021).

Posteriormente, se sumaron las emisiones totales de cada GEI por separado, para que se multipliquen por su PCG, los cuales se establecen previamente por el IPCC, obteniendo un resultado reportado en toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO_{2eq}) para cada uno, a los que se les pudo hacer una sumatoria para determinar las t CO_{2eq} que la institución ha emitido en total durante el año 2020. Esto reflejará el efecto total provocado por todas las emisiones en conjunto o la huella de carbono de la municipalidad.

Se pueden excluir de esta cuantificación las fuentes directas o indirectas que individualmente o en sumatoria no superen el 3 % del inventario total. Mientras que aquellas cuya cuantificación no es técnicamente viable o rentable se incluirán mediante una estimación que considere la incertidumbre que esta implica.

Paso 6: Evaluación de la incertidumbre

Se efectuó una evaluación de la incertidumbre que posee cada uno de los datos que se obtienen como resultado del inventario y se tiene en cuenta la incertidumbre que ya presentaban

los datos extraídos de cada actividad y la de los factores de emisión que se utilizan, mediante el uso de la *Guía metodológica para la estimación y análisis de la incertidumbre de emisiones y remociones de GEI para el PPCN* de la DCC (2019).

Como se mencionó, la metodología de cuantificación por emplear es por fuente de emisión y factores de emisión, que se utiliza con frecuencia para el cálculo de inventarios de emisión, por lo que la Guía de estimación de incertidumbres cuenta con un capítulo para el cálculo de la incertidumbre de los datos que se obtienen utilizando esta metodología. Para esto, propone una serie de pasos, que son los siguientes (DCC, 2019):

- **Comprensión del caso:** se deben identificar los aportes al inventario de emisiones y cuáles son las posibles fuentes de incertidumbre de los datos, para esto, puede elaborarse un diagrama de flujo que incluya los procesos y actividades que se llevan a cabo. Al identificar las posibles fuentes y sumideros de GEI, en algunos casos también es conveniente que se determinen los insumos, procesos y reacciones químicas características de las actividades.
- **Estimación de incertidumbres individuales:** al utilizar un método de cuantificación indirecto es necesario tomar en cuenta los factores de emisión y los datos de actividad. Estos últimos suelen provenir de mediciones, por lo que las fuentes de incertidumbre estarían asociadas con las características de los instrumentos de medición y a las réplicas de las mediciones. Por lo tanto, en esta etapa deben establecerse y evaluarse claramente las bases de datos y el origen de los factores de emisión, datos de actividad u otros parámetros de estimación, para iniciar con el proceso de evaluación y cuantificación numérica de las fuentes de incertidumbre.
- **Combinación de incertidumbres:** consiste en combinar las incertidumbres individuales estimadas, utilizando como base a los modelos matemáticos que componen el cálculo del propio inventario.
- **Expresión de resultados como intervalo:** una vez que se tienen las incertidumbres combinadas es necesario convertir esa información en un rango, como una medida de dispersión más entendible de los datos. Para esto, se asume una distribución de probabilidad normal para el resultado estimado y se determina la incertidumbre expandida a partir de una ecuación.

4.2.3. Fase 3. Elaborar una propuesta de reducción de emisiones en los aspectos más significativos, mediante la priorización de acciones, buenas prácticas o herramientas más eficientes, de forma que se reduzca el impacto en el ambiente

Paso 7: Definición de las posibles acciones de mitigación

Finalmente, se consideran las acciones específicas que puedan desarrollarse por la institución para mejorar los resultados de los inventarios, especialmente en las áreas donde hay

emisiones más significativas, tomando en cuenta las acciones en desarrollo de capacidades, transferencia tecnológica, aplicación de tecnologías amigables con el clima y actividades específicas en educación y sensibilización, aunque el impacto de estas últimas es difícil de cuantificar a corto plazo.

Estas propuestas de medidas ambientales seguirán criterios de tres tipos. Primero, un criterio político para conocer la posición y disponibilidad actual de la alcaldía y del Concejo Municipal hacia este tipo de proyectos, un criterio técnico que permita evaluar si existe, para los impactos que se identifican como significativos, una opción de mejora que pueda aplicarse por la institución y uno económico que evalúe el costo que supone la implementación de estas medidas, la capacidad de la institución para implementarlas y su rentabilidad.

Al tomar en cuenta estos criterios, se favorecerán las medidas según los resultados de la aplicación de la matriz de priorización de las acciones de mitigación recomendada por la DCC (2017), donde se ubiquen los criterios en relación con un ítem o condición, a la que se le responderá si la posee o no con un 1 o un 0 respectivamente, de esta forma, se puede contabilizar una prioridad como alta, media o baja, con la sumatoria de la puntuación total en todos los ítems de esa actividad. Además, las de bajo requerimiento técnico y económico, que puedan implementarse en el corto plazo y que tengan una importante mejora en el ámbito ambiental, asimismo, contar con acciones que las mantengan operativas a través del tiempo (Minae, 2011).

Con base en lo anterior, se elabora una propuesta de medidas de mitigación para la Municipalidad, empleando algunos de los ejemplos de acciones mencionadas en apartados anteriores y las que se encuentran en la Guía práctica para la reducción de emisiones en el sector público costarricense (Digecca s. f.b), según sea necesario y de acuerdo con las fuentes más significativas. Además, se incluye una sesión de validación de la propuesta junto con los departamentos competentes o claves que integran la municipalidad, de forma que puedan valorar las propuestas realizadas y brindar recomendaciones para abordarlas, así el documento no se percibe solo como un requisito del PGAI, sino también como un elemento clave en el momento de alcanzar la neutralidad en carbono.

5. Resultados

5.1. Caracterización y contexto de la organización

Como indican Jaeger y Quirós (2016), el cantón de San Isidro es el sexto de la provincia de Heredia y forma parte de la GAM, se fundó el 13 de julio de 1905 y está conformado por los distritos de San Isidro como su cabecera, San Josecito, San Francisco y Concepción, tiene una extensión de 26.96 km² y se estima que unos 22 000 habitantes. La economía del lugar se basa en actividades agropecuarias principalmente, como el cultivo de café y hortalizas, así como la

ganadería de leche y otras actividades como la construcción y el comercio. El territorio es rico en mantos acuíferos y esto le permite suministrarle agua a cantones vecinos y a la capital.

Mapa 1.

Ubicación del cantón de San Isidro (área de color rojo) en la provincia de Heredia y en Costa Rica



Nota. Mapas de Costa Rica (2014)

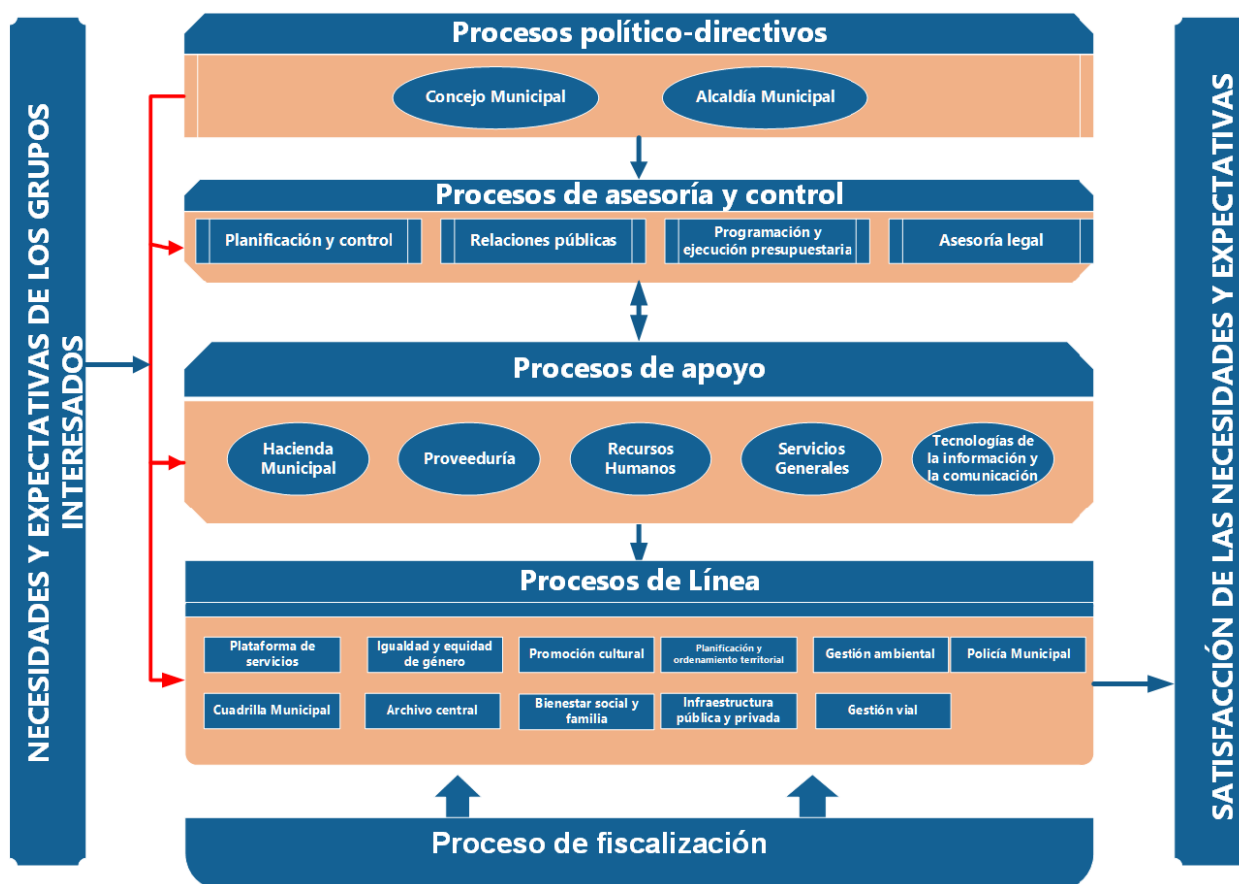
Su gobierno local tiene como misión administrar los intereses de la comunidad, prestar servicios y el desarrollo de los proyectos de obra pública en beneficio de los habitantes, mediante procesos eficientes, eficaces y efectivos que usen herramientas tecnológicas adecuadas y de personal calificado, lo que garantiza una mejor calidad de vida, desarrollo social, transparencia, participación ciudadana y rendición de cuentas. De la misma forma, se ha propuesto la visión de convertirse en una municipalidad modelo en la prestación de estos servicios y en la ejecución de sus proyectos de obra pública, mejorando la calidad de vida de los habitantes y comprometiéndose con el uso racional de los recursos naturales y con el ambiente (Marín, 2020).

Una institución pública, como la Municipalidad de San Isidro, debe encargarse principalmente de satisfacer las necesidades y expectativas de los habitantes del cantón, en materia de gobierno local, servicios públicos, requerimientos de obras, proyectos de infraestructura pública, seguridad ciudadana y atención de problemas sociales (ver Figura 1). Durante el año 2020, la gestión municipal continuó con su proceso de mejora en la prestación de servicios, la construcción de obras públicas y proyectos socioculturales, con el propósito de alcanzar estándares

de calidad, eficiencia y eficacia, mejorando la infraestructura vial con nuevas carpetas asfálticas, obras de evacuación de pluviales, aceras y parques (Municipalidad de San Isidro, 2021).

Figura 1.

Mapa de los procesos que se llevan a cabo en la Municipalidad de San Isidro como gobierno local, contemplando sus entradas y salidas

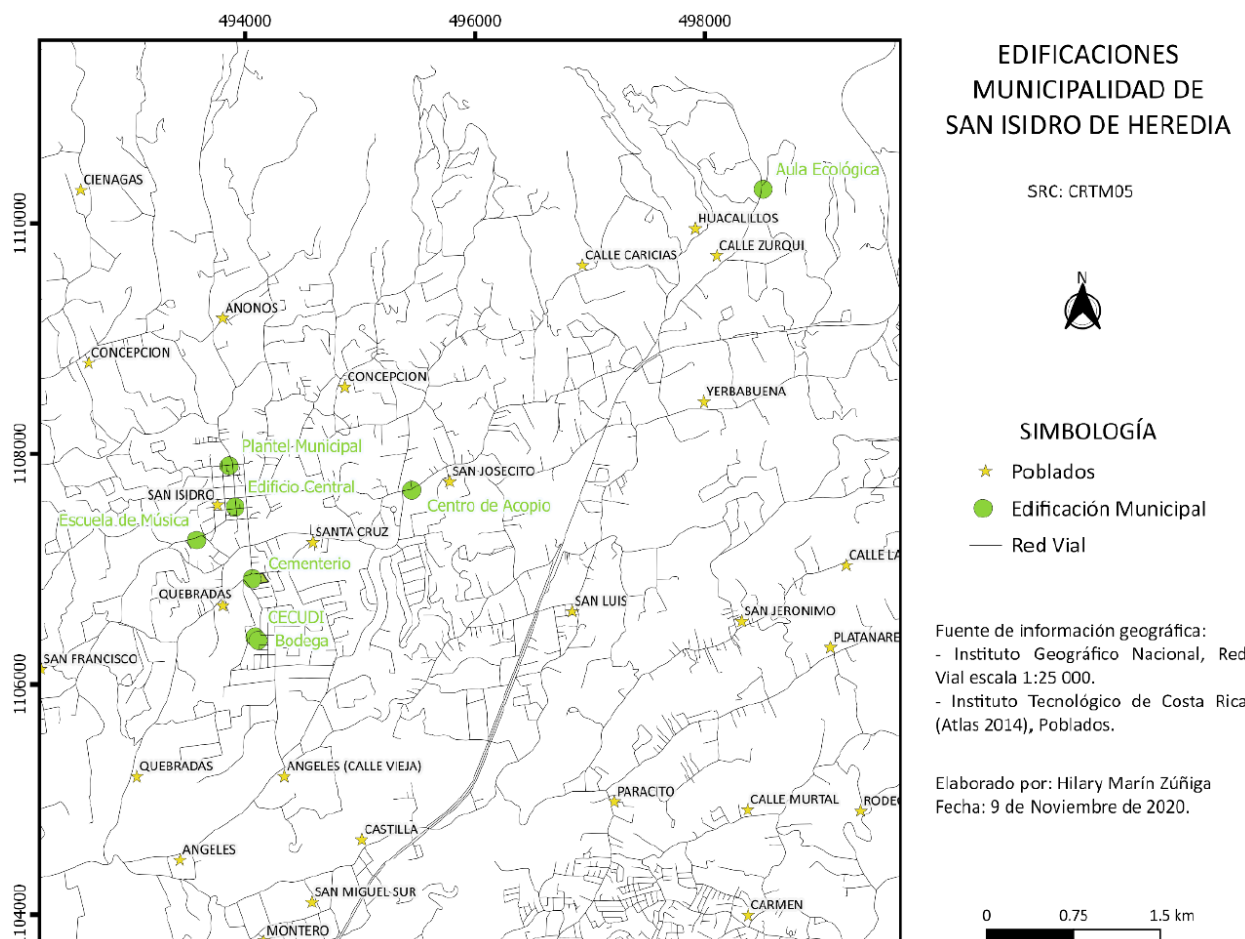


Nota. Municipalidad de San Isidro (2017)

Las instalaciones municipales, donde se desarrolló el trabajo están conformadas por ocho edificaciones, entre las que se encuentra el Edificio Administrativo Central donde se albergan la mayor cantidad de unidades municipales, la Escuela Municipal de Música, el Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal, el Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos, el Centro de Acopio, el Cementerio Municipal, el Plantel Municipal y la bodega de vías (ver Mapa 1), aunque sobre este último no tiene incidencia el gobierno local (Marín, 2020).

Mapa 2.

Ubicación de las edificaciones administradas por la municipalidad en el cantón de San Isidro de Heredia, Red Vial, 2005



Nota. Marín, 2020

Para comprender la estructura organizativa del municipio es importante establecer que esta se basa en unidades, que a su vez tienen sus propias subdivisiones, cada una tiene un componente que se estableció en un diagrama y se conceptualiza como una unidad administrativa. Estas unidades son segmentos estructurales que componen a la entidad, se emplean para identificar las diferentes funciones o actividades afines para que puedan relacionarse entre sí y cumplan objetivos comunes, pueden considerarse como direcciones, departamentos, secciones, unidades, oficinas, como un consejo o comisión u otras, aunque estas últimas son más políticas y directivas (Municipalidad de San Isidro, 2017).

Cuadro 1.

Arquitectura organizativa de la Municipalidad de San Isidro, por unidad orgánica y según su función

Órgano	Unidades orgánicas	Funciones
Órganos político-directivos	<ul style="list-style-type: none"> Concejo Municipal Alcaldía Municipal 	Responsables de fijar políticas, objetivos y estrategias de desarrollo en el ámbito cantonal, así como asumir las responsabilidades de planear, organizar,

		administrar, conducir, dirigir, controlar, supervisar y evaluar la gestión municipal.
Órganos de fiscalización	Auditoría interna	Efectúa la verificación de los resultados de la gestión municipal y sus órganos internos, en los aspectos administrativos, operativos y financiero-contables, con el fin de comprobar que lo realizado se ajusta a los planes aprobados y a las leyes y normativas vigentes.
Órganos de asesoría y control	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación y control • Asesoría jurídica • Programación y ejecución presupuestaria Relaciones públicas	Provee los criterios técnicos requeridos para sustentar las decisiones en el campo de la aplicación de políticas institucionales, de la gestión regular y de establecer criterios y proponer métodos de control, seguimiento y medición de metas y proyectos institucionales, para que se tomen decisiones, de forma eficaz y oportuna.
Órganos de apoyo	<ul style="list-style-type: none"> • Hacienda Municipal <ul style="list-style-type: none"> ○ Contabilidad ○ Bienes inmuebles ○ Gestión de cobro ○ Tesorería ○ Licencias municipales • Tecnologías de información y comunicación • Recursos humanos <ul style="list-style-type: none"> ○ Salud ocupacional ○ Planillas • Proveeduría Servicios generales	Prestan servicios internos de caracteres auxiliares u operativos a todos los demás órganos, para que funcionen con normalidad. Se encarga de la gestión, administración y control de los recursos de la Hacienda Municipal, del personal y apoyo logístico, lo que facilita el desarrollo y ejecución de la totalidad de los procesos de la organización.
Órganos de línea	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios públicos <ul style="list-style-type: none"> ○ Plataforma de servicios 	Integran los servicios públicos en cuanto a la misión de la municipalidad, tienen la

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gestión ambiental ○ Archivo central ○ Cuadrilla municipal ○ Policía Municipal • Desarrollo y control urbano <ul style="list-style-type: none"> ○ Infraestructura pública y privada ○ Planificación y ordenamiento territorial • Igualdad de género y desarrollo social <ul style="list-style-type: none"> ○ Bienestar social y familia ○ Promoción cultural ○ Igualdad y equidad de género <p>Unidad Técnica de Gestión Vial</p>	<p>finalidad de alcanzar los objetivos institucionales son responsables de cumplir y hacer cumplir las políticas de desarrollo y gestión municipal, provenientes del Concejo Municipal y la Alcaldía. Su deber es misional y consiste en prestar servicios públicos y sociales, lo que conforma el núcleo operativo de la gestión institucional.</p>
--	--	--

Nota. Elaboración propia con información de la Municipalidad de San Isidro (2017).

Con respecto a las actividades realizadas en la institución, estas se ejecutan en diferentes horarios según edificio, con un total de 86 funcionarios activos durante la jornada (ver Cuadro 2) y alrededor de los ocho edificios que administran. Además, se cuenta con un número indeterminado de personas que frecuentan el lugar, ya sea para ser atendidas frente a alguna situación o para realizar un trámite.

Cuadro 2.

Distribución de la cantidad de personas que trabajan en la Municipalidad de San Isidro, los días de actividad y la jornada laboral por edificio durante el año 2020

Edificio/Ubicación	Días de actividad	Jornada laboral	Cantidad de personas
Edificio Administrativo Central	Lunes a viernes	8:00 a. m. a 4:30 p. m.	47
Escuela Municipal de Música	Lunes a viernes	2:00 p. m. a 9:00 p. m.	2
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	Lunes a viernes	7:00 a. m. a 4:30 p. m.	10
Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos			0
Centro de Acopio	Martes a sábado	7:00 a. m. a 3:30 p. m.	5

Cementerio Municipal	Lunes a viernes	6:00 a. m. a 2:30 p. m.	1
Plantel Municipal	Lunes a viernes	6:00 a. m. a 2:30 p. m.	18
Bodega de vías	Lunes a viernes	6:00 a. m. a 2:30 p. m.	3
Total			86

Nota. Ver Anexo 1

5.2. Procesos clave y principales fuentes de emisión

Las fuentes de emisión de GEI, detectadas durante las visitas de campo, se concentran principalmente en el Edificio Administrativo Central y en el Plantel Municipal, debido a que la mayoría de las actividades que realizan se desarrollan dentro o desde estos dos puntos, mientras que en el resto de las áreas solamente hay unos pocos puntos de análisis menores, pero que igual se documentan. Los principales GEI emitidos por cada una de estas fuentes son el CO₂, CH₄, N₂O y gases refrigerantes como el R134a, R410a y el R600a, los cuales se cuantifican dentro del inventario.

Cuadro 3.

Fuentes de emisión detectadas (en color verde) en la Municipalidad de San Isidro por edificio en el año 2020

Edificio	Combustible fósil	Aceite lubricante	Agua residual	Gas refrigerante	Extintor	Consumo eléctrico
Edificio Administrativo Central						
Escuela Municipal de Música						
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal						
Aula Ecológica Rolando						

Zamora Villalobos						
Centro de Acopio						
Cementerio Municipal						
Plantel Municipal						
Bodega de vías						

Es necesario tomar en cuenta que, durante el año 2020, algunos aspectos municipales se vieron afectados por las medidas de contingencia aplicadas en todo el territorio nacional como método para evitar el contagio de la COVID-19 entre las personas. Por lo que, a partir de marzo de 2020, hubo varias alteraciones en la presencia de personal en las instalaciones municipales, lo que afectó a algunas fuentes de emisión, como las provenientes por el consumo de electricidad y a la generación de aguas residuales, aunque el uso de combustibles fósiles, que es el más significativo, no se vio tan afectado por estar relacionado con procesos clave, como la recolección de residuos, el mantenimiento y la seguridad ciudadana.

5.2.1. Edificio Administrativo Central

En esta estructura es donde se albergan la mayor cantidad de unidades municipales, entre las que se encuentra la Alcaldía que cuenta con su propio conductor y automóvil, la Policía Municipal que dispone de automóviles y motocicletas (ver Anexo 4). Además, están otras oficinas como las de archivo y tecnología que cuentan con su propio sistema de aire acondicionado y salas como las de proveeduría y limpieza que tienen un refrigerador (ver Anexo 7). Esta gran cantidad de actividades en un mismo lugar implica que haya cierto consumo de electricidad, generación de aguas residuales y extintores instalados.

5.2.2. Escuela Municipal de Música

La Escuela de Música es un lugar donde se desarrollan actividades artísticas con proyección cultural y social, cuenta con un personal muy reducido de tan solo dos personas y su actividad es mínima debido al impacto de la pandemia en las actividades educativas, por lo que solo se encontraron como fuentes de emisión a un aire acondicionado (ver Anexo 7), la generación de aguas residuales y el consumo de electricidad.

5.2.3. Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal

En estas instalaciones se le da educación a niños y niñas con edades que van desde menos de un año hasta los 6 años. Aquí trabaja un pequeño número de personas y al centrar sus actividades en el cuidado de menores requiere de una cocina bien equipada y un comedor, de modo que las

fuentes de emisión detectadas consisten en gases refrigerantes provenientes de dos congeladores y una refrigeradora (ver Anexo 7), el consumo de electricidad y las aguas residuales.

5.2.4. Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos

Este edificio educativo se construyó con el propósito de brindarle educación ambiental a los habitantes del cantón, pero los efectos de la pandemia han provocado que haya muy poca actividad en el lugar y solo se ha detectado una pequeña fuente de emisiones por el consumo de energía eléctrica.

5.2.5. Centro de Acopio

A esta ubicación se transportan los residuos valorizables del cantón, donde se separan y procesan, cuenta con una trituradora y una compactadora, lo que le permite tratar residuos de papel, cartón y botellas de plástico en amplias cantidades, pudiendo procesar varias toneladas mensuales. Por esta razón, puede pensarse que el consumo de electricidad es muy alto, pero esta lo costea la Residencia Geriátrica Nuestra Señora de los Ángeles dentro de la cual se encuentra ubicado, de forma que las únicas fuentes de emisión presentes son por concepto de aguas residuales y por un refrigerador compacto que utilizan en el lugar.

5.2.6. Cementerio Municipal

No parece necesario establecer la principal actividad que se lleva a cabo aquí, pero es importante mencionar que solo hay una persona que se encuentra laborando en la zona y que esta forma parte de la cuadrilla municipal, efectuando actividades de limpieza y mantenimiento de zonas verdes, por lo que utiliza una motoguadaña que funciona con gasolina (ver Anexo 2). Esto junto con el consumo de electricidad por las luminarias conforman las dos fuentes de emisión observadas en el lugar.

5.2.7. Plantel Municipal

Desde este sitio se desarrolla una amplia variedad de actividades, que van desde la limpieza y mantenimiento de vías hasta la recolección de distintos tipos de residuos, mantenimiento de zonas verdes y obras de construcción. Para esto, requieren del uso de vehículos particulares, camiones, camiones recolectores de residuos, maquinaria pesada como una retroexcavadora y otros equipos portátiles como una máquina de cortar asfalto, motoguadañas, motosierras, sopladoras, una planta de generación eléctrica portátil y una bomba de agua (ver Anexo 2). Todos estos vehículos y maquinaria requieren de combustibles fósiles para funcionar y de aceite lubricante para su mantenimiento, de forma que esto representa la principal fuente de emisiones del sitio junto con las aguas residuales, los gases refrigerantes provenientes de los aires acondicionados de los vehículos y de una refrigeradora, el consumo de electricidad y la presencia de extintores.

5.2.8. Bodega de vías

Esta ubicación es de un tamaño reducido y solo se utiliza para guardar herramientas y materiales que pueden utilizarse por la cuadrilla municipal, por lo que la única posible fuente de emisión que se encuentra es el consumo de electricidad.

5.3. Estimación de la huella de carbono institucional

5.3.1. Estimación de las emisiones de GEI por Alcance 1

En lo que respecta al Alcance 1, se estimaron las emisiones provenientes de fuentes directas, como los combustibles fósiles, los aceites lubricantes, las aguas residuales, los gases refrigerantes y los extintores.

5.3.1.1. Estimación de las emisiones por combustibles fósiles

Las toneladas de CO_{2eq} provenientes de las emisiones por combustibles fósiles se obtuvieron a partir de la contabilización de los litros de gasolina consumidos en la municipalidad durante el año 2020 (ver Anexo 4). Estos valores se multiplicaron por los factores de emisión del IMN (2021) según el tipo de combustible, ya sea gasolina o diésel y el GEI emitido, en este caso el CO₂, CH₄ y N₂O, cada uno multiplicado, a la vez, por su PCG (ver Anexo 10) para obtener así con una sumatoria un total de 137.752 t CO_{2eq} (ver Cuadro 4).

Cuadro 4.

Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el consumo de combustibles fósiles durante el año 2020, según la fuente de emisión

Fuente de emisión	Emisiones (toneladas CO _{2eq})	Emisiones (%)
Vehículos	44.954	32.634
Recolectores	91.038	66.088
Maquinaria	1.760	1.278
Total	137.752	100

Nota. Ver Anexo 11

5.3.1.2. Estimación de las emisiones por aceites lubricantes

Para el caso de los aceites lubricantes, la estimación de sus emisiones se llevó a cabo tomando en cuenta la cantidad de cambios de litros de aceite que se le hizo a cada uno de los vehículos (ver Anexo 5), tomando en cuenta un valor de rendimiento del vehículo en kilómetros por litro de combustible consumido y la tasa de uso de litros de aceite. El valor resultante se multiplicó por el factor de emisión del IMN (2021) para el uso de lubricantes (ver Anexo 10), lo que permitió obtener la cantidad de CO₂ y hacer una sumatoria para un total de 0.2916 t CO_{2eq} o lo que serían 291.6 kg CO_{2eq} (ver Cuadro 5).

Cuadro 5.

Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el uso de aceites lubricantes durante el año 2020, según la fuente de emisión

Fuente de emisión (vehículo)	Emisiones (toneladas de CO_{2eq})	Emisiones (%)
Vehículos	0.2916	100.00

Nota. Ver Anexo 12

5.3.1.3. Estimación de las emisiones por aguas residuales

En lo que respecta a las aguas residuales y los gases que emiten, se encontró que el sistema de tratamiento que se utiliza es el tanque séptico y para determinar sus emisiones fue necesario tomar en cuenta la cantidad de personas que trabajan en cada edificio y el tiempo en horas que pasan ahí durante el año. Ambos valores se multiplicaron por el factor de emisión del IMN (2021) de CH₄ en tanque séptico y se multiplicó por su PCG (ver Anexo 10), así se obtuvo un total de 1.69 t CO_{2eq} (ver Cuadro 6).

Cuadro 6.

Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por generación de aguas residuales durante el año 2020, según la fuente de emisión

Fuente de emisión (edificio)	Emisiones (toneladas de CO_{2eq})	Emisiones (%)
Edificio Administrativo Central	0.91	53.90
Escuela Municipal de Música	0.04	2.14
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	0.22	13.00
Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos	0.00	0.00
Centro de Acopio	0.10	5.73
Cementerio Municipal	0.02	1.15
Plantel Municipal	0.35	20.64
Bodega de vías	0.06	3.44
Total	1.69	100

Nota. Ver Anexo 13

5.3.1.4. Estimación de las emisiones por gases refrigerantes

Los equipos refrigerantes emiten diferentes tipos de gases según su diseño y del uso que se les dé, por lo que tomando en cuenta el registro del refrigerante y su capacidad (ver Anexo 7), se aplicó una ecuación recomendada por el IPCC (2006) para determinar, de acuerdo con el índice de emisión de cada dispositivo, el factor de pérdida anual del gas que contiene y multiplicado por

su PCG (ver Anexo 10). La suma de estos resultados dio un total de 0.1754 t CO_{2eq} o lo que serían 175.4 kg de CO_{2eq} (ver Cuadro 7).

Cuadro 7.

Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por gases refrigerantes de equipos durante el año 2020, según la fuente de emisión

Fuente de emisión (edificio)	Emisiones (toneladas de CO_{2eq})	Emisiones (%)
Edificio Administrativo Central/Archivo	0.1432	41.1539
Edificio Administrativo Central/Tecnología	0.0000	0.0000
Edificio Administrativo Central/Proveeduría	0.0000	0.0002
Edificio Administrativo Central/Limpieza	0.0007	0.1870
Escuela Municipal de Música	0.1725	49.5831
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	0.0000	0.0000
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	0.0304	8.7395
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	0.0005	0.1495
Centro de acopio	0.0000	0.0001
Plantel Municipal	0.0007	0.1868
Total	0.3479	100

Nota. Ver Anexo 14

5.3.1.5. Estimación de las emisiones por extintores

Para la estimación de las emisiones por la recarga de extintores, se revisó el inventario de este tipo de equipos que se mantienen en uso en las instalaciones municipales (ver Anexo 8), con esta información se determinó que solo dos de ellos, ubicados en el Edificio Administrativo Central y en el Plantel Municipal, contienen como agente de extinción de incendios al CO₂. A estos se les debe dar mantenimiento al menos una vez al año, por lo que se tomó la capacidad de los extintores como una emisión de CO₂, lo que ocasiona 0.009 t de CO₂ (ver Cuadro 8) o lo que serían 9 kg de CO₂.

Cuadro 8.

Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el uso de extintores durante el año 2020, según la fuente de emisión

Fuente de emisión (edificio)	Emisiones (toneladas de CO_{2eq})	Emisiones (%)
Edificio Administrativo Central	0.0045	50

Plantel Municipal	0.0045	50
Total	0.0090	100

Nota. Ver Anexo 15

5.3.3. Estimación de las emisiones de GEI por Alcance 2

Corresponden al Alcance 2 todas aquellas emisiones indirectas producto del consumo de energía de las instalaciones administradas y que depende en buena medida de la matriz energética del país, es así como contemplando el registro del consumo de electricidad (ver Anexo 9) y multiplicándolo por el factor de emisión del IMN (2021), se obtuvo que se emitieron un total de 1.4635 t CO_{2eq} (ver Cuadro 9).

Cuadro 9.

Estimación de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por el consumo de electricidad durante el año 2020, según la fuente de emisión

Fuente de emisión (edificio)	Emisiones (toneladas de CO_{2eq})	Emisiones (%)
Edificio Administrativo Central	0.9118	62.3054
Escuela Municipal de Música	0.0642	4.3876
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	0.1521	10.3900
Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos	0.0100	0.6841
Cementerio Municipal	0.1444	9.8678
Plantel Municipal	0.1805	12.3362
Bodega de vías	0.0004	0.0289
Total	1.4635	100

Nota. Ver Anexo 16

5.4. Estimación de la incertidumbre de los datos

La evaluación de la incertidumbre de los datos que se obtienen como resultado del cálculo de las emisiones se llevó a cabo conforme a lo establecido en la *Guía metodológica para la estimación y análisis de la incertidumbre de emisiones y remociones de GEI para el PPCN* de la DCC. Ese documento contiene una explicación más detallada sobre las ecuaciones, datos y procedimientos que se deben efectuar para obtener la incertidumbre de los datos.

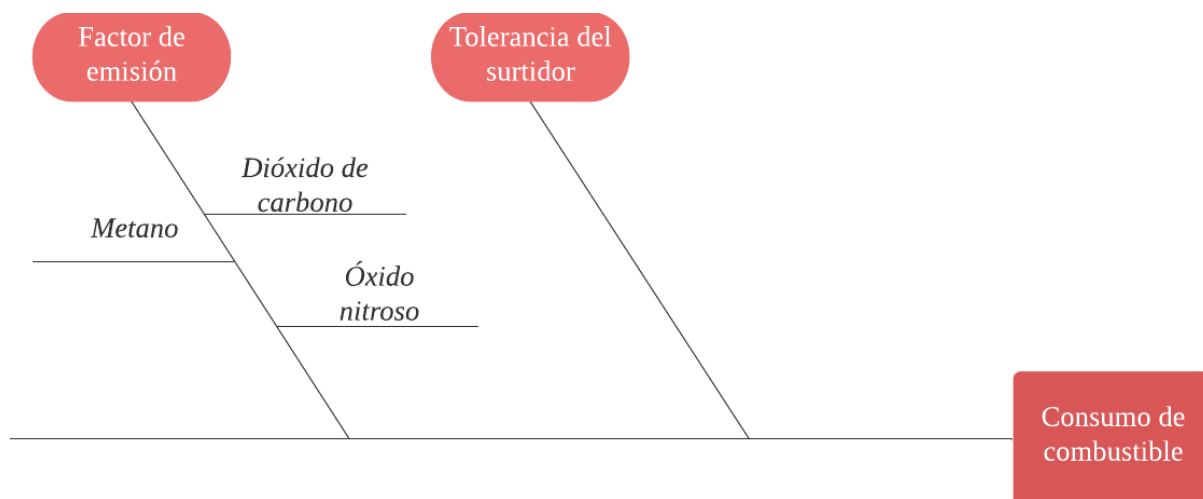
5.4.1. Estimación de la incertidumbre de emisiones por combustibles fósiles

En el apartado de los combustibles fósiles se encontraron dos fuentes de incertidumbre en la Figura 2 que corresponden a la tolerancia del surtidor de combustible establecida por el Reglamento para Surtidores de Combustibles Líquidos (Gasolina, Diésel, Kerosene, etc.) n.º 26425-MEIC y el factor de emisión establecido por el IMN para el dióxido de carbono, el metano

y el óxido nítrico, los cuales son GEI con su propio PCG que, por ser constante, no afecta a la incertidumbre.

Figura 2.

Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por combustibles fósiles



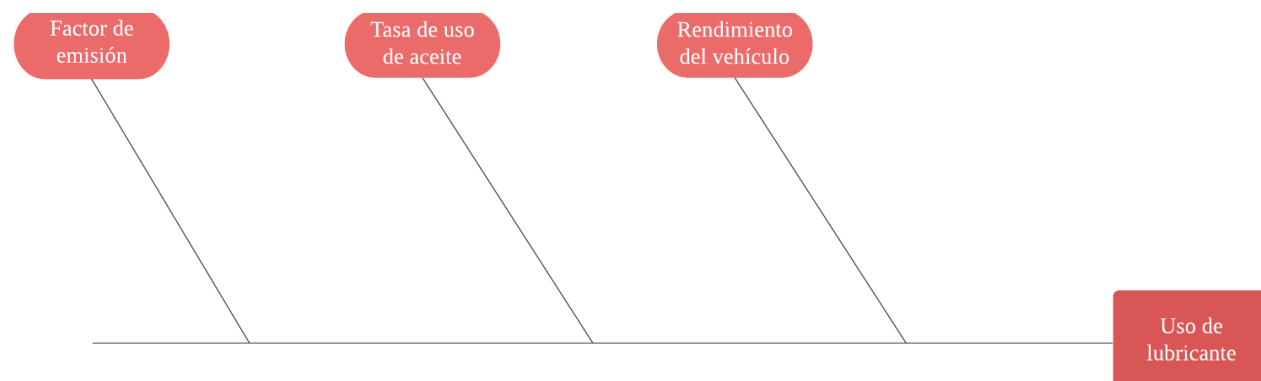
Se obtuvo como resultado, mediante las ecuaciones suministradas por la guía, que el porcentaje de incertidumbre del surtidor de combustible corresponde a 0.289 %, mientras que el de dióxido de carbono es de 2.760 % y 1.660 %, el del metano es de 74.650 % y 50 % y el del óxido nítrico es de 65.270 % y 65.580 %, para gasolina y diésel respectivamente en cada uno de los casos. Para una incertidumbre combinada de 2.775 % y 1.685 % para el dióxido de carbono, 74.651 % y 50.001 % para el metano y 65.271 % y 65.581 % para el óxido nítrico en la gasolina y el diésel respectivamente, para obtener al final un intervalo de incertidumbre de ± 4.362 t CO_{2eq}.

5.4.2. Estimación de la incertidumbre de emisiones por aceites lubricantes

Para la estimación de la incertidumbre en el cálculo para los aceites lubricantes se encontraron tres fuentes de incertidumbre (ver Figura 3). Estas son provenientes de los factores de rendimiento de cada vehículo, la tasa de uso de aceite que le corresponde y el factor de emisión del IMN para el uso de lubricante.

Figura 3.

Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por aceites lubricantes



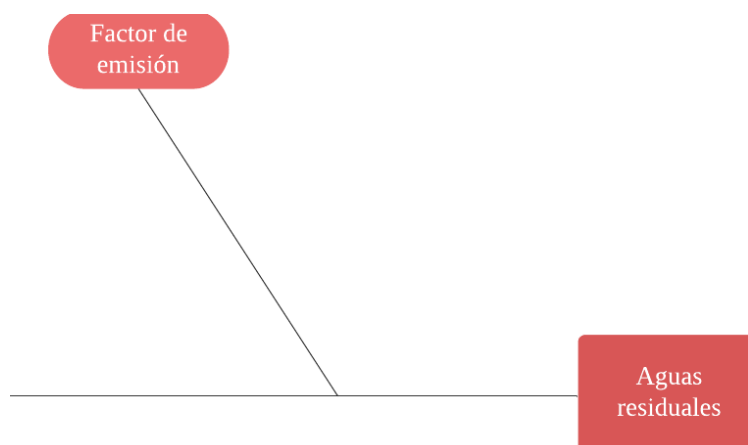
Sin embargo, para este caso resultó imposible obtener la incertidumbre asociada con los datos del rendimiento del vehículo y la tasa de uso de aceite, según la ecuación empleada para alcanzarlos, mientras que el IMN no suministró una incertidumbre para el dato del factor de emisión del uso de lubricante, por lo que no se le asignó un intervalo de incertidumbre a este apartado.

5.4.3. Estimación de la incertidumbre de emisiones por aguas residuales

Al tomarse en su mayoría valores constantes para calcular las emisiones por aguas residuales, como la cantidad de personas y el tiempo que trabajan en las instalaciones correspondientes, solo se encontró una fuente de incertidumbre (ver Figura 4) que es el factor de emisiones del IMN que se utiliza para estimar las emisiones de metano por persona, pero se decidió que era conveniente añadir otra fuente de 30 % debido a la variabilidad en el comportamiento de cada una de las personas que se encuentran en las instalaciones y el uso que le pueden dar a los servicios sanitarios. Por lo tanto, se debe aplicar el PCG de este GEI, pero al ser constante no se toma en cuenta para la incertidumbre.

Figura 4.

Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por aguas residuales



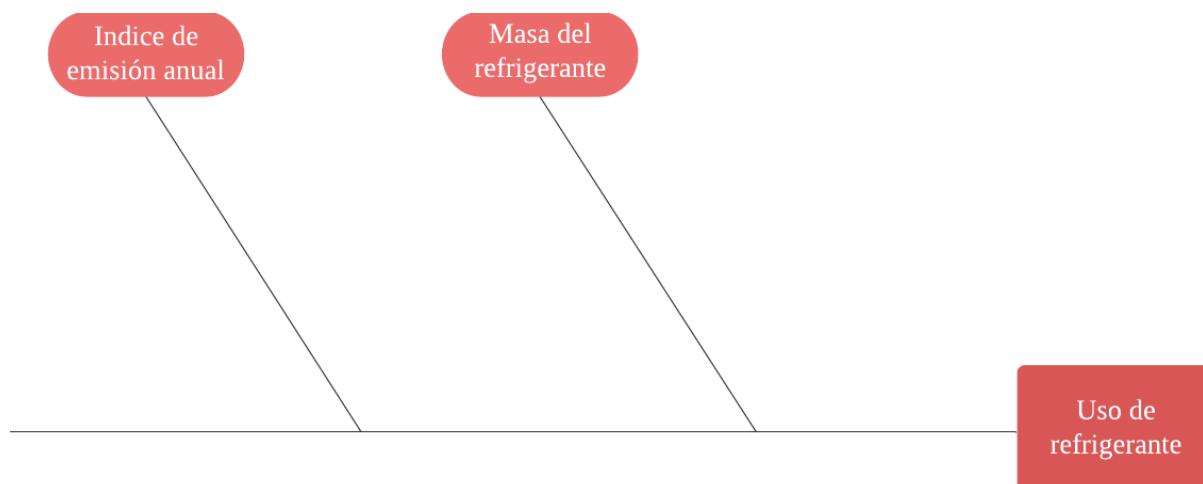
El resultado de la incertidumbre, debido a que la mayoría de los valores que se utilizan son constantes, solo contempla el factor de emisión, que según el IMN es de un 30 %, más el 30 % añadido por variabilidad, lleva a un intervalo de 64.807 % y de ± 1.09 t CO_{2eq}.

5.4.4. Estimación de la incertidumbre de emisiones por gases refrigerantes

En el caso de las fuentes de incertidumbre de las emisiones por los gases refrigerantes, debido al uso de la metodología establecida por el IPCC que emplea factores como el índice de emisión anual y el factor de pérdida, es que los datos del índice de emisión y la incertidumbre adquirida durante la medición de la masa del refrigerante forman parte de estas fuentes. Esto se presenta en la Figura 5.

Figura 5.

Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por gases refrigerantes



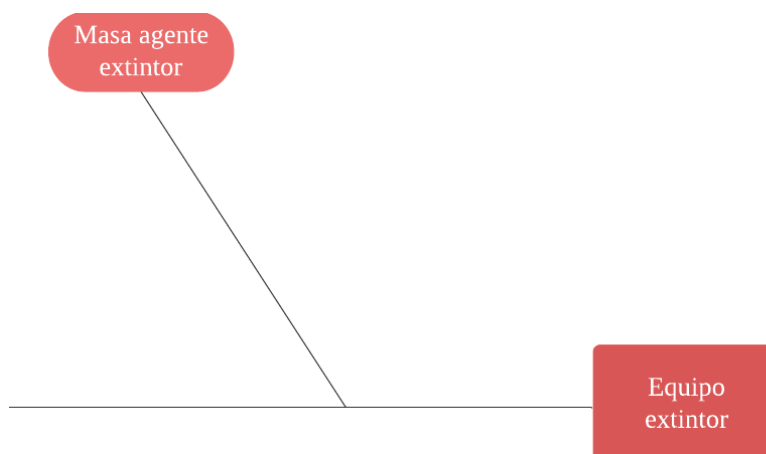
De esta forma, se estableció según el IPCC el intervalo de incertidumbre por el índice de emisión anual de acuerdo con el equipo refrigerante, la del aire acondicionado residencial es de ± 4.5 , la de refrigeración doméstica de ± 0.2 y la del congelador de ± 6.5 , aunque no se pudo obtener la correspondiente a la medición de la masa del refrigerante, lo que da como resultado un intervalo total de incertidumbre de $\pm 0.0295 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$.

5.4.5. Estimación de la incertidumbre de emisiones por agentes extintores

En lo que respecta a los equipos extintores que se encuentran en las instalaciones, la única fuente de incertidumbre que se encontró fue la proveniente de la medida obtenida durante la medición de la masa correspondiente al agente extintor que contiene (ver Figura 6).

Figura 6.

Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por agentes extintores



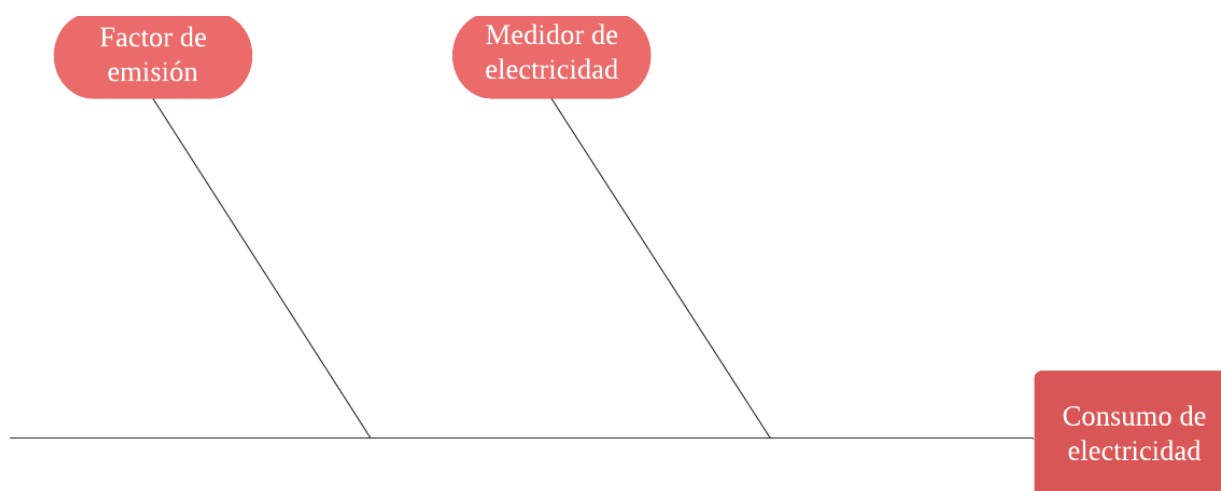
A pesar de que únicamente está presente una fuente de incertidumbre, no fue posible determinar el valor asociado con el equipo de medición que se utiliza para pesar la cantidad de agente extintor presente en los equipos.

5.4.6. Estimación de la incertidumbre de emisiones por consumo de electricidad

Para el caso de las fuentes de incertidumbre por el consumo de electricidad, se pudieron observar dos de ellas, como la incertidumbre asociada con la tolerancia del medidor de electricidad instalado en el lugar, que está determinada por la normativa del suministro eléctrico nacional y el factor de emisión del IMN.

Figura 7.

Fuentes de incertidumbre asociadas con las emisiones por consumo de electricidad



Como resultado se pudo obtener que la tolerancia del medidor eléctrico es de 0.50 %, contribuyendo con una incertidumbre de 0.289 %, mientras que el factor de emisión del IMN aporta una de 6.40 %, lo que lleva a una incertidumbre combinada de 6.407 % y a un intervalo de 12.813 % o $\pm 0.1875 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$.

5.4.7. Estimación de la incertidumbre del inventario de emisiones de GEI

Tomando en cuenta todos los datos anteriormente descritos, se pudo realizar el cálculo de la incertidumbre global que tiene el resultado final de la suma de todas las emisiones detectadas en el inventario de emisiones de GEI, dando un total de $\pm 4.2585 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$. Esta información se ha visto principalmente afectada por las principales fuentes de incertidumbre, las cuales provienen de los datos de combustibles fósiles y de aguas residuales.

5.5. Acciones que se plantearon para la reducción de las emisiones

Algunas de las medidas para reducir las emisiones de GEI que se le pueden plantear al gobierno municipal para su análisis están conformadas por las que se enfocan en las emisiones que se generan por el uso de combustibles fósiles y la flota vehicular, debido a que conforma la principal fuente de emisiones en el inventario con $137.75 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$, lo que representa el 97.42 % del total. Por esta razón, pueden aplicarse medidas como (ver Cuadro 10) reducir la necesidad del uso de vehículos para el transporte (A), mejorar la administración y gestión de la flota vehicular (B), capacitar a los conductores en medidas de ahorro energético (C), instalar sistemas o mecanismos que permitan ahorrar combustible (D), sustituir el tipo de combustible que requiere o reemplazar

el vehículo por completo con otro más moderno que sea más eficiente, que sea híbrido o eléctrico (E).

Cuadro 10.

Matriz de priorización de las acciones de mitigación, según los criterios técnico-ambientales, económicos y político-sociales, para las cinco medidas propuestas

Criterios	Ítem	A	B	C	D	E
Técnico-ambientales	Se puede implementar con recursos humanos y técnicos disponibles en la Municipalidad	1	1	1	1	1
	Es replicable en otros espacios del cantón	1	1	0	0	0
	El tiempo de implementación es menor a 3 años	1	1	1	1	0
	Contribuye a la adaptación al cambio climático	1	1	1	1	1
	Contribuye a la reducción de las emisiones en el sector de mayor emisión	1	1	1	1	1
Subtotal		5	5	4	4	3
Económicos	Tiene costos de inversión bajos (menor a ¢30.000.000)	1	1	1	1	0
	Tiene costos bajos de operación y mantenimiento anual	1	1	1	1	0
	Reduce costos operativos de la municipalidad a largo plazo	0	1	0	1	0
	Genera nuevas oportunidades de negocio para el cantón	0	0	0	0	0
	Requiere valorización de factibilidad para medir su viabilidad	1	1	1	1	1
	Tiene potencial de financiamiento externo	0	0	0	0	1
Subtotal		3	4	3	4	2
Político-sociales	Se encuentra alineado con la planificación estratégica municipal vigente	1	1	1	1	1
	Suma o se vincula a otros proyectos locales que se han desarrollado en el cantón	0	1	0	0	1
	Genera cobeneficios en los lugares aledaños	0	0	0	0	0
	Promueve la participación ciudadana	0	0	0	0	0
	Se beneficia a poblaciones socioeconómicamente vulnerables	0	0	0	0	0
Subtotal		1	2	1	1	2
Total		9	11	8	9	7

Nota. Se le asignará un valor de 1 si cumple con el ítem y de cero si no cumple con el mismo.

Además, cada una de las letras equivale a las medidas propuestas.

Mediante los resultados con la aplicación de la matriz de priorización de la DCC (ver Cuadro 10), se determinó que, tomando en cuenta los criterios técnico-ambientales, todas las medidas tienen una prioridad alta excepto la E que es media. Además, considerando los criterios económicos todas ellas tienen una prioridad media y, finalmente, según los criterios político-sociales la A, C y D tienen una prioridad baja y la B prioridad media. Por lo tanto, se puede afirmar que la medida con mayor prioridad es la que implica mejorar la administración y gestión de la flota vehicular (B), seguida por la A, D y C, quedando la que supone reemplazar por completo un vehículo de última, como la que tiene una menor prioridad.

6. Discusión

6.1. Caracterización de la organización

Se puede apreciar que la Municipalidad de San Isidro es una institución que se ha centrado en brindarle una mejor calidad de vida a todos los habitantes que se encuentran viviendo en el cantón y se ha comprometido en usar, de forma racional, sus recursos y la protección del ambiente. Lo anterior la orienta directamente hacia el desarrollo sostenible y la gestión ambiental, ambos aspectos en los que puede ser muy útil contar con un inventario de emisiones de GEI que los lleve a tomar decisiones que reduzcan su impacto ambiental negativo y los acerque a la neutralidad en carbono.

6.2. Procesos clave y principales fuentes de emisión

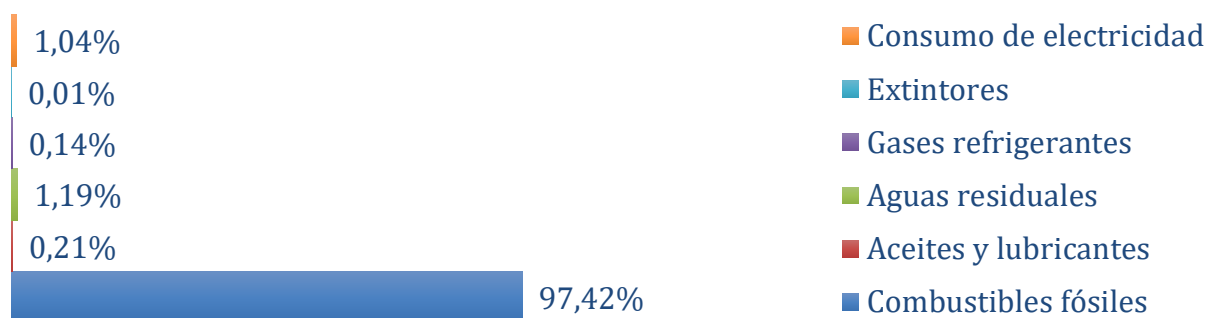
La mayoría de las actividades municipales, como las de otros gobiernos locales, se centra en procesos políticos, directivos, administrativos, de asesoría, control y apoyo, donde no se presentan fuentes de emisión de gran magnitud o que estén fuera de lo común, como el consumo de electricidad, generación de aguas residuales o el uso de refrigerantes. Sin embargo, es cuando se analizan los procesos de línea que es posible encontrar una amplia gama de actividades, que van desde la seguridad pública hasta el mantenimiento y construcción de obras, recolección de residuos y mantenimiento de áreas verdes, lo que implica un alto consumo de combustibles fósiles que permitan mover toda la maquinaria y automotores que se requieren.

6.3. Huella de carbono institucional

Al tomar en cuenta las estimaciones realizadas de todas las emisiones institucionales de la Municipalidad de San Isidro, se determinó que estas suman un total de 141.55 t CO_{2eq} con una incertidumbre de ± 4.26 , donde las emisiones producto del uso de combustibles fósiles son las principales contribuyentes con un 97.31 % (ver Figura 8) y, principalmente, las provenientes del Plantel Municipal, lo que lo vuelve también el edificio que más contribuye con estas con un 93 % y también al Alcance 1 como el apartado con mayores contribuciones en el inventario con un 99 % (ver Figura 9).

Figura 8.

Distribución porcentual que le corresponde a cada una de las fuentes de emisión contabilizadas en el inventario de la Municipalidad de San Isidro durante el año 2020

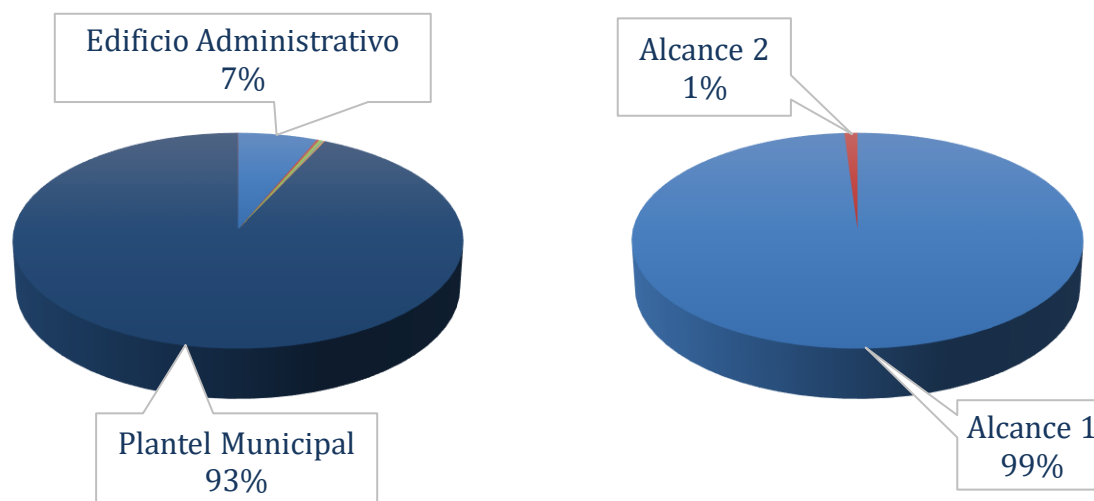


Nota. Ver Anexo 17

Esto puede deberse a que, si se observa más cuidadosamente y con mayor detalle, en el Plantel Municipal es desde donde se gestiona la recolección de residuos de la municipalidad, lo que representa incluso un 66.09 % de las emisiones por combustible (ver Cuadro 4) y el 64.32 % de las emisiones totales.

Figura 9.

Distribución porcentual que le corresponde a cada uno de los edificios administrados por la Municipalidad de San Isidro y a los Alcances contabilizados durante el año 2020



Nota. Ver Anexo 18 y Anexo 19

De esta forma, se puede establecer que, si un vehículo particular en promedio emite unas 6 a 9 t CO_{2eq} al año según kilometraje, la Municipalidad de San Isidro estaría emitiendo el equivalente a las emisiones de 16 a 24 vehículos respectivamente (Colprensa, 2018), además, se

puede afirmar que, considerando una emisión promedio de 1.7 t CO_{2eq} al año por persona en Costa Rica, el municipio emitiría el equivalente a lo que harían 84 personas costarricenses (Banco Mundial, 2018).

Sin embargo, resulta complicado compararla con otra municipalidad o institución por las amplias diferencias en cuanto a las actividades que realizan o las fuentes de emisión, por ejemplo, la Municipalidad de San Carlos, la Universidad Nacional de Costa Rica y el Instituto Tecnológico Nacional, también cuentan con una huella de carbono institucional. En el primer caso, se obtuvo como resultado para el periodo 2010 – 2011 un total de emisiones de 51 608 t CO_{2eq} en las instalaciones municipales del cantón de San Carlos de Alajuela (Montes de Oca y Arce, 2011), pero algunos factores como el mayor tamaño del cantón (3347.98 km²), sus habitantes (206 115) y que la principal fuente de emisión es el vertedero municipal con 49 631 t CO_{2eq}, dificultan su comparación con la mucho más pequeña Municipalidad de San Isidro, la cual carece de un vertedero municipal propio.

Seguidamente, en segundo lugar, la Universidad Nacional de Costa Rica en el periodo 2012 – 2014, identificó en la totalidad de sus instalaciones unas emisiones de 2096 y de 3568 t CO_{2eq} respectivamente, pero se debe tomar en cuenta las diferentes actividades que hay en una institución educativa con un total de tres sedes y cuatro estaciones, al momento de realizado el estudio, como es el caso de esta universidad (Chavarría et al., 2016). Aquí hay una gran cantidad de estudiantes moviéndose en los diferentes edificios, cuyas aulas consumen energía durante las clases, especialmente en los laboratorios o áreas de investigación especializadas y donde también se contemplan los viajes aéreos realizados, los cuales representan la mayor emisión con 703.05 y 1009 t CO_{2eq} para los años de estudio, todos estos son aspectos que la diferencian de la Municipalidad de San Isidro, donde no circulan tantas personas diariamente durante un largo tiempo y no tienen contemplado el uso de transporte en avión.

En lo que respecta al tercer y último ejemplo, el Instituto Tecnológico de Costa Rica, que comparte ciertas similitudes con el anterior, mostró en su huella de carbono institucional para el periodo de 2007 a 2009 un promedio de 2541 t CO_{2eq} por año y una proyección de 3741 t CO_{2eq} al año para el periodo de 2011 a 2021, pero a efectos comparativos con el presente estudio se pueden resaltar ciertas diferencias, ya que en el instituto el 40 % de las emisiones contabilizadas corresponden a la fermentación entérica del ganado y un 36 % a la gestión del estiércol, ambos aspectos pecuarios con los que no cuenta la Municipalidad de San Isidro por no administrar ningún tipo de finca o similares, es así como resulta ser difícil realizar una comparación adecuada entre los estudios anteriormente mencionados y el presente.

6.4. Recomendaciones aceptadas para reducir las emisiones

Junto con la municipalidad y mediante los resultados con la matriz de priorización de las medidas propuestas, se pudo determinar que las que se recomienda implementar son las que implican mejorar la administración y gestión de la flota vehicular (B), donde puede ayudar el estudio de rutas que se realiza en la institución (ver Anexo 3) como una forma de optimizar las rutas, establecer viajes conjuntos o con un cronograma para minimizar el uso de combustible. A esta le puede seguir la reducción del uso de vehículos para el transporte (A) e instalar sistemas o mecanismos que ahorren combustible (D) como un tacómetro que permita usar el motor eficientemente, un control de velocidad crucero que disminuya la velocidad a una más constante, limitadores de velocidad que eviten el exceso de velocidad y dispositivos que permitan un flujo dirigido de aire hacia el motor para mejorar la combustión.

Por otro lado, a pesar de que la medida que supone reemplazar los vehículos por completo por unos más modernos que consuman combustible más eficientemente (E) es la que tiene una menor prioridad (ver Cuadro 10), esta ya se ha llevado a la práctica durante el año 2021 con un gran éxito (ver Anexo 2). De esta forma, se puede observar que la municipalidad quiere reducir de manera significativa las emisiones de GEI, aunque esto pueda suponer una inversión bastante grande, mostrando su disposición y compromiso con las acciones de mitigación y dándole importancia a los estudios de factibilidad. No obstante, resultaría más prudente aplicar primero las medidas descritas antes de realizar una gran inversión, para reducir todo lo posible las emisiones con un menor costo económico para la institución.

7. Conclusiones y recomendaciones

Mediante el análisis de los procesos clave y de las fuentes de emisión de la Municipalidad de San Isidro de Heredia, fue posible determinar que, a pesar de que una gran parte de la información como la que maneja el Plantel Municipal, la del consumo de gasolina y de electricidad está disponible, hay algunos datos que fueron más difíciles de obtener por la falta de registros sobre estos, como los gases refrigerantes, los lubricantes y las aguas residuales.

La contabilización de las emisiones permitió formular y obtener la huella de carbono institucional, la cual alcanzó las 141.55 t CO_{2eq} con una incertidumbre de ± 4.26 , la principal contribución a este resultado son las emisiones por combustibles fósiles provenientes del Plantel Municipal, debido a la gran cantidad de actividades que desarrollan y que requieren de esta fuente de energía. Estas son de vital importancia para el funcionamiento adecuado de la institución y el cumplimiento de sus competencias.

Con el uso de la matriz de priorización de las propuestas de reducción se pudo determinar que la mejor alternativa para la municipalidad es continuar desarrollando el estudio de rutas que permita mejorar la gestión de la flota vehicular y así reducir progresivamente las emisiones de

GEI, así como el gasto en la compra de combustible, representando también un ahorro en el ámbito institucional. No obstante, eventualmente se puede valorar reemplazar alguno de los vehículos para un mayor impacto en la reducción de las emisiones, a pesar de la gran inversión que implica.

10. Referencias bibliográficas

- Alfaro, D.; Salas Morelli, L.; Sánchez Mejías, B.; Mora Barrantes, J.; Sibaja Brenes, J. P. y Borbón Alpízar, H. (2021). Preliminary inventory of atmospheric emissions (SO₂, NO_x and TSP) from different industrial sectors in Costa Rica. *Revista Uniciencia*, 34(2), 1-16. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/14469>
- Arguedas Marín, M. (junio 2012). La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9 (22), 51-59. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/369/302>
- Ballester, F. (marzo-abril de 2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de salud pública*, 79(2). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005
- Banco Mundial. (2017). *Fijación del precio del carbono*. <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/carbon-pricing>
- Banco Mundial. (2018). *Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC>
- Chavarría Solera, F., Molina León, O. M., Gamboa Venegas, R. y Rodríguez Flores, J. (julio-diciembre 2016). Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014. Rumbo a la carbono neutralidad. *Revista Uniciencia*, 30 (2), 47-62. <https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/6328/7756-20543-1-SM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Colprensa. (2018). *¿Cuánto carbono producen los distintos tipos de vehículo?* <https://www.revistaturbo.com/noticias/cuanto-carbono-producen-los-diferentes-tipos-de-vehículo-1197>
- Contraloría General de la República. (s. f.). *Zonaje, kilometraje y viáticos*. <https://www.cgr.go.cr/02-consultas/consulta-zon-kilo-via.html>
- Decreto Ejecutivo n.º 36499. (2011). Para la elaboración de programas de Gestión Ambiental institucional en el sector público de Costa Rica.
- Dirección de Cambio Climático (DCC). (2017). *Guía de implementación del Programa País de Neutralidad en carbono 2.0: Categoría cantonal*. https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2020/04/Guia_implementacion_cantonal_final-V2.pdf
- Dirección de Cambio Climático (DCC). (2018a). *Plan Nacional de Descarbonización*. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/PLAN.pdf>
- Dirección de Cambio Climático (DCC). (2018b). *Guía para la participación en el Programa País de Neutralidad en carbono: Categoría organizacional*. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/07/Guia-Carbono-Neutralidad-DCC-Parte-1.pdf?x91706>
- Dirección de Cambio Climático (DCC). (2019). *Guía metodológica para la estimación y análisis de la incertidumbre de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI)*. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PPCN-GuiaIncertidumbre.pdf?x50040>
- Dirección de Cambio Climático (DCC). (2020). *Proyecto ACCIÓN Clima II: Logros y experiencias 2016-2019*. https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/proy-ACII-logros_y_experiencias-FINAL-baja2.pdf?x41288

- Dirección de Cambio Climático (DCC). (s. f.a). *Inventario de Nacional de Gases de efecto invernadero (INGEI)*. <https://cambioclimatico.go.cr/inventario-nacional-de-gases-de-efecto-invernadero-Ingei/>
- Dirección de Cambio Climático (DCC). (s. f.b). *País Neutralidad en carbono*. <https://cambioclimatico.go.cr/programa-pais-carbono-neutralidad/>
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (Digeca). (2018). *Control de inventario emisiones de GEI*. <http://www.digeca.go.cr/documentos/control-de-inventario-emisiones-de-gei>
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (Digeca). (s. f.a). *Guía para la Elaboración de Acciones en Cambio Climático*. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_elaboracion_inventario_gase_s_efecto_invernadero_v1.0_0.pdf
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (Digeca). (s. f.b). *Guía práctica para la reducción de emisiones en el sector público costarricense*. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_de_emisiones_0.pdf
- El País (2019, 8 de octubre). El impacto de organizaciones y municipalidades contra la crisis climática. *El País*. <https://www.elpais.cr/2019/10/08/el-impacto-de-organizaciones-y-municipalidades-contrala-crisis-climatica/>
- Estado de la Nación. (2020). *Informe del Estado de la Nación 2020*. <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/7992>
- Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). (2018). *Glosario ambiental: ¿Cómo es eso de la 'huella de carbono'?* <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=325977>
- Gaitán, M. y Cárdenas, P. (2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf
- García Reynoso, J. A.; Mar Morales, B. E. y Ruiz Suárez, L. G. (2018). Modelo de Distribución Espacial, Temporal y de Especiación del Inventario de Emisiones de México (año base, 2008) para su uso en modelización de calidad del aire (DiETE). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(4). <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.04.07/46797>
- García Sánchez, D.; Vega Méndez, J. y Mora, L. (2021). Experiencias incipientes de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el ámbito local en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 186-210. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/14839/20703>
- Global Climate Change. (2017). *Los efectos del cambio climático*. <https://climate.nasa.gov/efectos/>
- Guerra Martínez, F. (2021). *Cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero, ¿cuál es cuál?*, 72(2), 48-55. https://www.researchgate.net/publication/350808738_Cambio_climatico_calentamiento_global_y_efecto_invernadero_cual_es_cual
- Guerrero, M. (2016, 9 de agosto). Los efectos del Cambio Climático ya son evidentes en Costa Rica. *El Mundo CR*. <https://www.elmundo.cr/opinion/los-efectos-del-cambio-climatico-ya-son-evidentes-en-costa-rica/>

- Guevara, R. (2017, 11 de octubre). *Marco Jurídico para la adaptación y mitigación al cambio climático*. <https://www.batalla.com/en/news/2017/10/11/marco-juridico-para-la-adaptacin-y-mitigacin-al-cambio-climtico>
- Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición). McGraw-Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ideam, PNUD, MADS, DNP y Cancillería. (2015). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia, Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla_INGEI.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2005). *Preguntas frecuentes: Cambio Climático*. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (Inteco). (2016). *Norma para demostrar la Neutralidad en carbono (INTE B5)*.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2015). *Inventario nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de gases de efecto invernadero en Costa Rica*. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/InventariosGEI/InventarioGEI-2015/index.html#>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2021). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/factoresemision/factoresemision2021/offline/FactoresEmision-GEI-2021.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global Warming of 1.5 °C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf#page=1&zoom=page-width,-14,799
- Jaeger, M. y Quirós, G. (2016). *Diagnóstico cantonal de la Municipalidad de San Isidro de Heredia*. <https://www.munisanisidro.go.cr/index.php/documentos/proyectos-sociales?download=540:diagnostico-pieg-san-isidro>
- Mapas de Costa Rica. (2014). *Mapas del Cantón de San Isidro*. <http://mapasdecostarica.blogspot.com/2014/09/san-isidro.html>
- Marín, H. (2020). *Diagnóstico Ambiental Inicial de la Municipalidad de San Isidro: PGAI 2020*.
- Ministerio de Ambiente y Energía (Minae). (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC)*. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/ENCC.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía (Minae). (2011). *Guía para la elaboración de programas de Gestión Ambiental institucional (PGAI) en el sector público de Costa Rica*. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_elaboracion_programas_gestion_ambiental_institucional.pdf

- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS). (2021). *Lista de ocupaciones clasificada por el personal técnico del departamento*. https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2021.pdf
- Montes de Oca Vásquez, G. y Arce Ramírez, E. (2011). *La huella de carbono en la Municipalidad de San Carlos y logro de la carbono neutralidad* [Trabajo Final de Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5806/huella_carbono_sancarlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mora, L. y equipo Técnico Partnership for Market Readiness Costa Rica (PMR). (2020). *Programa País Neutralidad en carbono: Categoría Organizacional*. https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2020/04/1-PPCN_Organizacional.pdf
- Municipalidad de San Isidro. (2017). *Manual de organización y funciones*. <https://www.munisanisidro.go.cr/index.php/transparencia/recursos-humanos?download=701:manual-de-organizacion-2017-v-04-pdf>
- Municipalidad de San Isidro. (2021). *Informe de labores durante el año 2020*. <https://www.munisanisidro.go.cr/index.php/documentos/informe-de-labores-2020>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2021). Trends in CO₂, CH₄, N₂O y SF₆. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Núñez Carballo, V.; Saura González, G.; Rodríguez Rojas, R.; Otero Martín, M.; Machado Montes de Oca, A. Purón Arbolaez, M.; Martínez Pérez, I.; Pérez Borroto, L. E.; Cuesta Santos, O.; Herrera Moya, I.; Morales Pérez, M. C.; Pedraza Gárciga, J. y Alejo Sánchez, D. (2018). Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 24. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/441/563>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2020b, 2 de diciembre). *El 2020, otro año de ventaja para el cambio climático*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/12/1484942>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). *Desafíos globales: Cambio Climático*. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020a). *Acción por el clima: Constataciones principales*. <https://www.un.org/es/climatechange/science/key-findings>
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2006). *Verificación y contabilización de gases de efecto invernadero (ISO 14064)*.
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (s. f.). ¿Qué es un Inventario de gases efecto invernadero? <http://ambientebogota.gov.co/es/que-es-un-inventario-de-gases-efecto-invernadero>
- Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ). (2017). *Proyecto ACCIÓN Clima II: Hacia un modelo de desarrollo bajo en emisiones*. https://www.giz.de/en/downloads/giz2017_es_nel_%20II.pdf
- Transparencia Universidad Nacional de Costa Rica. (2021). *Índice salarial 2021*. <https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/9381/%c3%8dndice%20Salarial%202021.xlsx?sequence=7&isAllowed=y>
- Universidad de Costa Rica (UCR). (2018). *Índices de Competitividad Cantonal de San Isidro de Heredia*. <https://icc.fce.ucr.ac.cr/canton/2018/406>

11. Anexos

Anexo 1.

Entrevista a la encargada de la Unidad Técnica de Gestión Ambiental de la Municipalidad de San Isidro sobre los procesos que se llevan a cabo y las fuentes de emisión

Objetivo: Obtener información sobre los procesos que se llevan a cabo en la Municipalidad, las fuentes de emisión, los datos que tienen y los métodos de registro que utilizan.
1) ¿Cuál considera que es el alcance óptimo o adecuado del inventario? ¿Debe abarcar los ocho edificios por completo?
Sí, lo ideal es que se tomen en cuenta todos los edificios que administra la municipalidad.
2) ¿Cuántas personas trabajan y cuántos vehículos se mantienen operativos en cada ubicación?
En el edificio principal administrativo se mantienen en uso cuatro vehículos y tres motos, en la red de cuidado trabajan 30 personas, en el cementerio solo hay una persona trabajando, en el centro de acopio se encuentran 5 personas y en el plantel la mayoría del personal no está siempre ahí y se tienen 3 camiones, un vehículo eléctrico, un vehículo de combustión y otros para obras de construcción.
3) ¿Cuál es la disponibilidad de datos e información que poseen actualmente?
Del año 2020 se tiene una cantidad importante de información recolectada, ya que se hizo un gran esfuerzo durante este tiempo en obtención de datos, en el caso del año 2021 es necesario verificar el levantamiento de datos en proveeduría.
4) ¿Cuáles son los mecanismos que mantienen para registrar la información sobre consumo de electricidad, consumo y mantenimiento de los vehículos, disposición de aguas residuales, uso de refrigerantes y tipos de extintores?
En el caso del consumo de electricidad contamos con las facturas de la empresa que suministra el servicio, para los vehículos se cuenta con un inventario de combustibles, en el caso de las aguas residuales el sistema de tratamiento que se utiliza es el tanque séptico, de los aires acondicionados se tiene un inventario de estos y su ubicación, además, se cuenta con un inventario de extintores con el tipo y la cantidad de contenido.

Anexo 2.

Entrevista a las personas que se encargan de cada edificio administrado por la Municipalidad de San Isidro sobre los procesos que se llevan a cabo y las fuentes de emisión.

<p>Objetivo: Obtener datos específicos que pueden tener las personas funcionarias de la municipalidad sobre una fuente de emisión, como aire acondicionado, consumo de combustible, uso de lubricante o extintores.</p>
<p>Álvaro Fuentes Aguilar, auxiliar de Proveduría</p>
<p>1) ¿Cuál es la cantidad, ubicación y capacidad de carga de los refrigeradores y aires acondicionados que poseen?</p>
<p>Hay un total de tres aires acondicionados, una cámara de refrigeración vertical, un congelador horizontal y tres refrigeradoras</p>
<p>Andrés Salazar Esquivel, encargado de Salud Ocupacional</p>
<p>2) ¿Cuál es la cantidad, ubicación, capacidad de carga y tipo de extintor que poseen?</p>
<p>Actualmente contamos con tres diferentes tipos de extintores, ya sea tipo A (agua), tipo BC (dióxido de carbono) y tipo ABC (polvo químico seco), del tipo A hay dos de 27.5 libras, del tipo BC hay uno de 10 libras y del tipo ABC hay ocho, de los cuales cuatro son de 10 libras y otros cuatro son de 1.1 libras.</p>
<p>Carlos López, coordinador de Tecnología</p>
<p>3) ¿Cada cuánto se les da mantenimiento a los aires acondicionados y cuál es su capacidad de carga?</p>
<p>Hay dos aires acondicionados en el edificio administrativo y ambos son de 12 000 BTU, pero uno de ellos se mantiene encendido siempre por estar en un cuarto de servidores, por lo que se le da mantenimiento cada 3 meses, al otro solo cada 6 meses y se usa muy poco. Además, hay otro aire acondicionado en la Escuela de Música, que es de 8000 BTU, se usa poco y se le da mantenimiento cada 6 meses.</p>
<p>Kenneth Jiménez, policía municipal</p>
<p>4) ¿Mantienen un registro de la cantidad de combustible que utilizan los vehículos o el mantenimiento que se les da?</p>
<p>No se mantiene un registro de la cantidad de litros de combustible que se cargan, pero sabemos que se abastece de combustible a los vehículos de día por medio y se le hace un cambio de aceite cada 3000 km.</p>
<p>Francisco Gutiérrez Aoqui, chofer de la Alcaldía</p>
<p>5) ¿Mantienen un registro de la cantidad de combustible que utilizan los vehículos o el mantenimiento que se les da?</p>
<p>No se mantiene un registro de esos datos, pero sí puedo destacar que la alcaldía realiza pocos viajes o muy ocasionales, aunque sí se mantienen registradas todas las diligencias que realizo durante la jornada.</p>

Erick Granda Vargas, coordinador de Cuadrilla Municipal	
6) ¿Mantienen un registro de la cantidad de combustible que utilizan los vehículos o el mantenimiento que se les da?	
	Para los vehículos utilizados por la cuadrilla municipal se mantiene un registro del combustible y mantenimiento que se les da, además este departamento es el que tiene más asignados o bajo su administración.
7) ¿Cuáles son las principales actividades que se llevan a cabo desde el plantel municipal y las posibles fuentes de emisión que se encuentran ahí?	
	Desde el plantel municipal realizamos distintas actividades de limpieza, mantenimiento de vías, recolección de residuos, mantenimiento de zonas verdes, obras de construcción, entre otras. Estas actividades requieren el uso de vehículos particulares, camiones, camiones recolectores de residuos, maquinaria pesada y otros equipos portátiles.
8) ¿En cuáles actividades del plantel municipal se emplea el producto identificado como <i>pichingas</i> en los registros de combustible?	
	Las <i>pichingas</i> se emplean para llenar el depósito de combustible de otros equipos que son necesarios para desarrollar muchas de las actividades que cumple la cuadrilla municipal, por esto, contamos con equipos como una máquina de cortar asfalto, dos motoguadañas, tres motosierras, una sopladora, una planta de generación eléctrica portátil y una bomba de agua.
9) ¿Cómo está compuesta la flotilla vehicular administrada desde el plantel municipal?	
	Nuestra flotilla vehicular incluye un total de 7 automóviles, entre estos hay una retroexcavadora, tres camiones, un <i>pickup</i> , un todoterreno y una camioneta, además de los recolectores de residuos que son contratados a otra empresa, pero la municipalidad cubre los gastos de combustible.
10) ¿De qué manera manejan la información y los registros sobre el mantenimiento y las compras de aceites para cada vehículo?	
	Se mantiene un registro de todo el mantenimiento y las compras para cada uno de los vehículos de forma individual e incluyendo el costo de estos. Esto es importante, ya que se tiene un contrato con las empresas que brindan el mantenimiento, a las cuales se les comunica, al comenzar el año, sobre la cantidad proyectada de cambios de aceite que se van a requerir durante ese año.
11) Sobre los otros equipos y herramientas que funcionan a base de combustible, ¿qué información tienen sobre el tiempo de uso o la cantidad de gasolina que consumen?	

Hasta el momento no se ha estudiado la cantidad de combustible que utiliza cada uno de los equipos mientras está en uso y tampoco se mantiene un registro de cuánto tiempo estuvo usándose cada uno.
12) ¿Cuántos extintores tienen disponibles en el edificio del plantel y los vehículos que administran?
Según la información recopilada en el inventario de extintores del plantel, se tienen un total de 18 extintores de distintos tipos y capacidades en el edificio del plantel, el centro de acopio y los vehículos.
13) ¿Cuántos litros de lubricante figuran en los cambios de aceite realizados a cada uno de los vehículos que administran desde el Plantel Municipal?
Según los datos que tenemos registrados el vehículo de placa SM4916 recibió dos cambios de aceite de 32 l y un cambio de aceite hidráulico de 64 l, el SM7298 recibió dos cambios de 48 l de aceite de motor, un cambio de 54 l de aceite hidráulico y un cambio de 28 l de aceite de diferenciales, el SM4530 recibió dos cambios de 12 l de aceite un cambio de 16 l de aceite de diferencial y de caja, el SM6809 recibió cuatro cambios de 12 l de aceite y dos cambios de 12 l de aceite de diferencial y de caja, el SM7468 recibió tres cambios de 12 l de aceite y un cambio de 16 l de aceite de diferencial y de caja, y el SM6710 recibió dos cambios de 10 l de aceite y un cambio de 6 l de aceite de diferencial y de caja.
14) ¿Disponen de algún tipo de registro sobre la cantidad de refrigerante que utiliza el sistema de aire acondicionado de cada vehículo?
No, al contactar con las empresas que les dan mantenimiento a los vehículos estas respondieron que no tienen esa información, por lo que desafortunadamente la única forma de saberlo sería con los manuales y solo se tiene el del auto que se adquirió más recientemente en el año 2021.
15) ¿Han implementado hasta el momento alguna medida para reducir el consumo de combustible?
En efecto, se comenzó a elaborar el registro digital del consumo de combustible debido a que se quería reemplazar un vehículo del plantel municipal por uno más moderno y por lo tanto más eficiente, lo que requería demostrar que esa inversión iba a suponer un ahorro en las facturas por el pago de gasolina. Este objetivo se logró y permitió adquirir un vehículo último modelo en el año 2021 que según los datos que tenemos ha reducido considerablemente el consumo de combustible.

Anexo 3.

Observaciones o hallazgos realizados durante las visitas de campo a la Municipalidad de San Isidro

<p>1) La cantidad de extintores, el tipo de extintor, la masa que contienen y el agente extintor que utilizan, expresados por los datos que se muestran en el inventario de extintores de la institución coinciden con lo visto durante la visita al lugar.</p>
<p>2) Es importante resaltar que no se mantiene un registro digital de la información referente a la cantidad de combustible que se ha consumido o el costo asociado de este, ya que esta información se mantiene guardada solamente en registros físicos.</p>
<p>3) Durante la revisión de la información, que ya se encontraba digitada, sobre el consumo de combustible durante el año 2020, se detectó una oportunidad de mejora en la escritura de los datos sobre el pago realizado en cada factura, ya que estos tienen un valor menor al que corresponde. Sin embargo, esto no afecta a los valores del volumen de combustible y, por lo tanto, tampoco a los cálculos de emisiones de GEI.</p>
<p>4) En la revisión de los registros físicos del consumo de combustible se observaron algunas facturas que hacían referencia a un producto identificado como <i>pichingas</i> y utilizado en el plantel municipal, por lo que va a ser necesario consultar con la persona encargada de esta área sobre el uso de este material y el equipo que lo requiere.</p>
<p>5) La administración del plantel municipal mantiene un control adecuado de los registros de la flota vehicular, el mantenimiento que requieren, los gastos que tienen y el consumo de combustible, incluso con una pequeña base de datos digital propia. Sin embargo, hace falta mantener información sobre la cantidad de refrigerantes de cada vehículo y la cantidad de aceite que utilizan.</p>
<p>6) Hay una empresa que ha sido contratada para transferir toda la información que se encuentra en los registros físicos a una base de datos digital, pero se desconoce el progreso que llevan en este trabajo, el intervalo de tiempo que va a abarcar o si pronto va a estar terminado, por lo que se ha optado por no depender de esta empresa para el presente proyecto.</p>
<p>7) Un grupo de estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica está trabajando en un estudio de rutas, que servirá para determinar el consumo de combustible por kilómetro de recorrido en cada uno de los vehículos. No obstante, es preferible no incluir esta información en el inventario de GEI por tratarse de un dato en promedio que podría incrementar significativamente la incertidumbre de los resultados.</p>

Anexo 4.

Contabilización del consumo de combustibles fósiles en la Municipalidad de San Isidro por vehículo durante el año 2020

Placa del vehículo o maquinaria	Tipo de combustible	Unidad municipal	Consumo de combustible (L)
SM3130	Diésel	Cuadrilla Municipal	357.662
SM3564	Super	Administración	0.000
SM4039	Super	Administración	611.064
SM4530	Diésel	Cuadrilla Municipal	512.803
SM4916	Diésel	Calles y Caminos	2739.856
SM6192	Diésel	Administración	1652.294
SM6545	Diésel	UT Gestión Vial	464.683
SM6710	Diésel	Calles y Caminos	267.648
SM6809	Diésel	Servicio Basura	4848.809
SM6949	Super	Bienes inmuebles	588.980
SM7298	Diésel	UT Gestión Vial	1756.257
SM7340	Super	Administración	226.693
SM7468	Diésel	Servicio Basura	2622.225
SM7673	Super	Policía Municipal	112.296
SM7679	Super	Policía Municipal	145.888
SM8265	Super	Policía Municipal	0.000
AGVL200	Diésel	Cuadrilla Municipal	0.000
Recolectores	Diésel	Servicio Basura	34175.056
Maquinaria	Super	Cuadrilla Municipal	752.856
	Regular		174.603
Total			52009.673

Anexo 5.

Contabilización del uso de aceites y lubricantes en la Municipalidad de San Isidro para el mantenimiento de cada vehículo durante el año 2020

Placa del vehículo	Unidad Municipal	Mantenimiento	Cantidad de aceite/lubricante (L)
SM3130	Cuadrilla Municipal	Sí	3.76
SM3564	Administración	No	0.00
SM4039	Administración	Sí	6.87
SM4530	Cuadrilla Municipal	Sí	40.00
SM4916	Calles y Caminos	Sí	150.00

SM6192	Administración	Sí	14.87
SM6545	UT Gestión Vial	Sí	4.18
SM6710	Calles y Caminos	Sí	26.00
SM6809	Servicio Basura	Sí	80.00
SM6949	Bienes inmuebles	Sí	4.98
SM7298	UT Gestión Vial	Sí	178.00
SM7340	Administración	Sí	5.10
SM7468	Servicio Basura	Sí	52.00
SM7673	Policía Municipal	Sí	2.53
SM7679	Policía Municipal	Sí	3.28
SM8265	Policía Municipal	No	0.00
Total			571.58

Anexo 6.

Contabilización de la capacidad de refrigerante en cada vehículo de la Municipalidad de San Isidro durante el año 2020

Placa del vehículo	Unidad Municipal	Tipo de refrigerante	Capacidad de refrigerante (g)
SM3130	Cuadrilla Municipal	No disponible	No disponible
SM4039	Administración	No disponible	No disponible
SM4530	Cuadrilla Municipal	No disponible	No disponible
SM6192	Administración	No disponible	No disponible
SM6545	UT Gestión Vial	No disponible	No disponible
SM6710	Calles y Caminos	No disponible	No disponible
SM6809	Servicio Basura	No disponible	No disponible
SM6949	Bienes inmuebles	No disponible	No disponible
SM7298	UT Gestión Vial	No disponible	No disponible
SM7340	Administración	No disponible	No disponible
SM7468	Servicio Basura	No disponible	No disponible
Total			

Anexo 7.

Inventario de los equipos refrigerantes registrados en la Municipalidad de San Isidro, según su ubicación y que se utilizan durante el año 2020

Edificio/Departamento	Equipo refrigerante	Tipo de refrigerante	Capacidad de refrigerante (g)
Edificio administrativo Central/Archivo	Aire acondicionado	R410a	830
Edificio administrativo Central/Tecnología	Aire acondicionado	R410a	770
Edificio administrativo Central/Proveeduría	Refrigeradora	R600a	35
Edificio administrativo Central/Limpieza	Refrigeradora	R134a	100
Escuela Municipal de Música	Aire acondicionado	R410a	1000
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	Cámara de refrigeración vertical	R134a	No disponible
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	Congelador horizontal	R134a	156
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	Refrigeradora	R134a	80
Centro de acopio	Refrigerador compacto	R600a	20
Plantel Municipal	Refrigeradora	R134a	100
Total			3091

Anexo 8.

Inventario de los extintores registrados en la Municipalidad de San Isidro y su ubicación durante el año 2020

Ubicación	Tamaño	Tipo de extintor	Agente extintor	Capacidad (lb)
Edificio administrativo central	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	BC	Dióxido de carbono	10.0
	Edificio	A	Agua	27.5
	Edificio	A	Agua	27.5
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5

	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5
Plantel Municipal	Edificio	BC	Dióxido de carbono	10.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	5.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Vehículo	ABC	Polvo químico seco	2.5
Centro de acopio	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Edificio	A	Agua	27.5
	Edificio	A	Agua	27.5
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	Cocina	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Comedor	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Transición	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Maternal	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Sala cuna	ABC	Polvo químico seco	10.0
Escuela de Música	Música	ABC	Polvo químico seco	10.0
	Música	ABC	Polvo químico seco	10.0
Total (dióxido de carbono)				20

Anexo 9.

Registro del consumo de electricidad en la Municipalidad de San Isidro por edificio durante el año 2020

Ubicación	Consumo de electricidad (kWh)
Edificio administrativo central	32 334

Escuela Municipal de Música	2277
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	5392
Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos	355
Cementerio Municipal	5121
Plantel Municipal	6402
Bodega de vías	15
Total	51 896

Anexo 10.

Factores de emisión y PCG que se utilizan para la estimación de las emisiones de GEI, según la fuente de información y el año de la referencia

Fuente de emisión	Unidad física	Factor de emisión	GEI	PCG	Fuente de información	Año
Combustibles fósiles	L (gasolina)	2.231 kgCO ₂ /L	CO ₂	1	IMN	2021
		0.907 gCH ₄ /L	CH ₄	21	IMN	2021
		0.283 gN ₂ O/L	N ₂ O	310	IMN	2021
	L (diésel)	2.613 kgCO ₂ /L	CO ₂	1	IMN	2021
		0.149 gCH ₄ /L	CH ₄	21	IMN	2021
		0.154 gN ₂ O/L	N ₂ O	310	IMN	2021
Aceites lubricantes	L (combustible)	0.5101 kgCO ₂ /L	CO ₂	1	IMN	2021
Aguas residuales	Personas	4.38 kgCH ₄ /persona	CH ₄	21	IMN	2021
Gases refrigerantes	G	Factor de pérdida*PCG	R134a R410a R600a	1300 1725 3	IMN IPCC	2021 2006
Extintores	G	Agente extintor*PCG	CO ₂	1		
Consumo de electricidad	KWh	0.0282 kgCO _{2eq} /kWh	CO ₂	1	IMN	2021

Anexo 11.

Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el consumo de combustibles fósiles

Datos recopilados: Litros de combustible consumidos (por ejemplo, 611.064 l de gasolina)
--

Factores de emisión:
<ul style="list-style-type: none"> • 2.231 kgCO₂/L • 0.907 gCH₄/L • 0.283 gN₂O/L
Potencial de calentamiento global:
<ul style="list-style-type: none"> • 1 para el CO₂ • 21 para el CH₄ • 310 para el N₂O
Ecuación: Litros de combustible * Factor de emisión * PCG = Emisiones
Emisiones: 1363.284 kgCO ₂ + (0.554 kgCH ₄ * 21) + (0.173 kgN ₂ O * 310) = 1428.531 kgCO _{2eq}
<ul style="list-style-type: none"> • 611.064 l * 2.231 kgCO₂/L = 1363.284 kgCO₂ • (611.064 l * 0.907 gCH₄/L) / 1000 $\frac{g}{kg}$ = 0.554 kgCH₄ • (611.064 l * 0.283 gN₂O/L) / 1000 $\frac{g}{kg}$ = 0.173 kgN₂O

Anexo 12.

Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el uso de aceite lubricante

Datos recopilados: Litros de aceite lubricante usado (571.58 l de aceite)
Factor de emisión: 0.5101 kgCO ₂ /L
Potencial de calentamiento global: 1 para el CO ₂
Ecuación:
<ul style="list-style-type: none"> • Litros de combustible * Kilómetros por litro de combustible * Litros de aceite por kilómetro = Litros de aceite • Litros de aceite * Factor de emisión * PCG = Emisiones
Emisiones: 571.58 l * 0.5101 kgCO ₂ /L = 291.5605 kgCO ₂

Anexo 13.

Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por la generación de aguas residuales

Datos recopilados: Cantidad de personas y tiempo laborado en años (por ejemplo, 47 personas y 7.5 horas diarias durante 246 días en el año)
Factores de emisión: 4.38 kgCH ₄ *año/persona
Potencial de calentamiento global: 21 para el CH ₄
Ecuación: Cantidad de personas * Tiempo laborado en años * Factor de emisión = Emisiones
Emisiones:

$$47 \text{ personas} * (7.5 \frac{h}{\text{día}} * 246 \frac{\text{días}}{\text{año}} \div 8760 \frac{h}{\text{año}}) * 4.38 \text{ kgCH}_4/\text{persona} =$$

$$43.36 \text{ kgCH}_4 * 21 = 910.51 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}$$

Anexo 14.

Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el uso de equipos refrigerantes

Datos recopilados: Capacidad del gas refrigerante en cada equipo y el índice de emisión anual (por ejemplo, 830 g de R410 a con un índice de emisión de 10 %)
Factores de emisión: Capacidad del gas refrigerante * (Índice de emisión/100) = Factor de pérdida
Potencial de calentamiento global: 1725 para el R410a
Ecuación: Factor de pérdida * PCG = Emisiones
Emisiones: (0.83 kg * 10 %) * 1725 = 143.18 kgCO ₂

Anexo 15.

Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por la instalación de extintores

Datos recopilados: Tipo de agente extintor y capacidad del extintor (9 kg)
Factores de emisión: 10 % (sin recarga) o 100 % (con recarga)
Potencial de calentamiento global: 1 para el CO ₂
Ecuación: Capacidad del extintor * Factor de emisión * PCG = Emisiones
Emisiones: 9 kg * 100 % = 9 kgCO ₂

Anexo 16.

Cálculos realizados para la estimación de las emisiones por el consumo de electricidad

Datos recopilados: Facturas del consumo de electricidad (51 896 kWh)
Factores de emisión: 0.0282 kgCO ₂ /kWh
Potencial de calentamiento global: 1 para el CO ₂
Ecuación: kWh consumidos * Factor de emisión * PCG = Emisiones
Emisiones: 51 896 kWh * 0.0282 kgCO ₂ /kWh = 1463.4672 kgCO ₂

Anexo 17.

Distribución de la huella de carbono según la fuente de emisión

Fuente de emisión	Emisiones	Emisiones
-------------------	-----------	-----------

	(toneladas CO _{2eq})	(%)
Combustibles fósiles	137.75	97.31
Aceites y lubricantes	0.29	0.21
Aguas residuales	1.69	1.19
Gases refrigerantes	0.35	0.25
Extintores	0.01	0.01
Consumo de electricidad	1.46	1.03
Total	141.55	100

Anexo 18.

Distribución de la huella de carbono según el edificio municipal

Edificio Municipal	Emisiones	Emisiones
	(toneladas CO _{2eq})	(%)
Edificio administrativo	8.95	6.32
Escuela Municipal de Música	0.27	0.19
Centro de Cuido y Desarrollo Infantil Municipal	0.40	0.28
Aula Ecológica Rolando Zamora Villalobos	0.01	0.01
Centro de Acopio	0.10	0.07
Cementerio Municipal	0.16	0.12
Plantel Municipal	131.60	92.97
Bodega de vías	0.06	0.04
Total	141.55	100

Anexo 19.

Distribución de la huella de carbono según el alcance

Alcance	Emisiones	Emisiones
	(toneladas CO _{2eq})	(%)
Emisiones directas	140.09	98.97
Emisiones indirectas	1.46	1.03
Total	141.55	100