

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Elaboración del sistema de gestión para la certificación carbono neutralidad en el
Campus Tecnológico Local San Carlos”**

Andrea Solano Herrera

Cartago, mayo, 2021



“Elaboración del sistema de gestión para la certificación carbono neutralidad en el Campus Tecnológico Local San Carlos”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

Ing. Andrea Acuña Piedra
Director

Ing. Raquel Mejías Elizondo
Lector 1

Ing. Sidney Quesada Delgado
Lector 2

MSc. Diana Zambrano Piamba
Coordinador COTRAFIG

MGA. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A Dios porque le debo todo lo que soy
y ha guiado mi camino a cada sueño cumplido.

*Bendito sea el Señor, mi Roca,
que adiestra mis manos para la batalla
y mis dedos para la guerra.
Salmos 144:1*

AGRADECIMIENTOS

Al personal del CTLSC porque de una u otra manera colaboraron con la realización de mi trabajo final de graduación. Agradezco a la dirección, por el compromiso en la gestión de emisiones de la institución y la oportunidad de realizar mi proyecto para así, devolver un poco de todo lo que me ha dado este lugar que tanto aprecio.

A DanzaTEC por hacer de mi camino universitario una experiencia integral y permitirme conocer personas y vivir experiencias que, de otra manera, no hubiera sido posible. Gracias a la danza por acompañarme en los momentos más difíciles y felices de esta etapa de mi vida.

A Eva, Alex, Brenda y a todos mis compañeros de la carrera de Ingeniería Ambiental, por vivir conmigo este proceso. Estoy segura de que vamos a aportar mucho a Costa Rica y al resto del mundo.

A la profe Andre por transmitirme tanto conocimiento, por hacer su trabajo con tanta excelencia, dedicación y sobre todo amor. Agradezco muchísimo que me confiara este proyecto y tener su apoyo incondicional, no me puedo sentir más privilegiada de que haya sido mi profesora tutora.

A Alejandro y a su familia por hacer que nunca me sintiera sola al mudarme a un lugar en donde no tenía a nadie y, además, hacerme un miembro de su familia. Sobre todo, a Alejandro por ser la persona más importante de esta etapa.

A mis papás y a mi hermana por siempre apoyarme a alcanzar mis sueños, por todas sus oraciones, por estar pendientes de mí y por la seguridad que me daban cada vez que los llamaba antes de un examen.

Agradezco sobre todo a Dios por poder convertirme en Ingeniera Ambiental y tener la oportunidad de aportar todos mis conocimientos en el desarrollo sostenible del planeta.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	<i>Objetivo general</i>	2
2.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
3	REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1	<i>GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO</i>	3
3.2	<i>SITUACIÓN MUNDIAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO</i>	6
3.3	<i>SITUACIÓN EN COSTA RICA</i>	7
3.4	<i>SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL</i>	10
3.5	<i>CARBONO NEUTRALIDAD</i>	11
3.5.1	Inventario de emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero	11
3.5.2	Reducción de Gases de Efecto Invernadero	12
3.5.3	Compensación de Gases de Efecto Invernadero	13
3.6	<i>EMISIONES DE GEI DEBIDO A ACTIVIDADES PECUARIAS</i>	13
3.6.1	Emisiones de GEI debido a actividades pecuarias en Costa Rica	14
4	MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1	<i>DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO</i>	16
4.2	<i>DEFINICIÓN DEL ALCANCE</i>	17
4.3	<i>DESARROLLO DEL MARCO DOCUMENTAL</i>	17
4.3.1	Identificación de las fuentes de GEI	17
4.3.2	Elaboración de procedimientos, formatos de registros y lista maestra	18
4.4	<i>CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI</i>	18
4.4.1	Metodología de cuantificación	18
4.4.2	Selección y recopilación de datos por actividad	18
4.4.3	Selección de factores de emisión	19
4.4.4	Cálculo de emisiones de GEI	21
4.4.4.1	Agroquímicos	21
4.4.4.2	Agua residual	23
4.4.5	Cálculo de la incertidumbre	24
4.4.6	Construcción del inventario de emisiones	25
4.5	<i>DESARROLLO DEL PLAN DE REDUCCIONES</i>	26
4.5.1	Documentación y cuantificación de las reducciones	26

4.5.2	Cambio de luminarias	26
4.5.3	Instalación de calentador solar	27
4.5.4	Coordinación de viajes compartidos	29
4.6	<i>DETERMINACIÓN DE LA COMPENSACIÓN</i>	29
4.7	<i>ELABORACIÓN DEL MANUAL PARA CUANTIFICAR LAS EMISIONES DE LAS ACTIVIDADES PECUARIAS DEL CTLSC</i>	29
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1	<i>GESTIÓN DE LA CARBONO NEUTRALIDAD</i>	31
5.1.1	Fuentes de emisión	31
5.1.2	Componentes del Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad	31
5.1.3	Fuentes de los datos a recopilar	34
5.2	<i>INVENTARIO DE EMISIONES</i>	35
5.2.1	Recopilación de datos de las fuentes de emisión	35
5.2.1.1	Datos de consumo de combustibles fósiles	35
5.2.1.2	Datos de las recargas de extintores	40
5.2.1.3	Datos de recargas de refrigerantes	40
5.2.1.4	Datos de lubricantes	41
5.2.1.5	Datos de aplicación de agroquímicos	41
5.2.1.6	Datos de la generación de agua residual	43
5.2.1.7	Datos de animales	44
5.2.1.8	Datos de compostaje	49
5.2.1.9	Datos de consumo de energía eléctrica	50
5.2.1.10	Datos de generación de residuos sólidos	50
5.2.1.11	Datos de viajes aéreos	52
5.2.2	Cálculo de las emisiones	52
5.2.2.1	Emisiones directas	55
5.2.2.2	Emisiones indirectas	58
5.2.2.3	Otras emisiones indirectas	59
5.2.2.4	Comparación de emisiones de GEI	60
5.2.2.5	Exclusión de fuentes de emisión	61
5.2.2.6	Cálculo de incertidumbre de las emisiones	62
5.3	<i>REDUCCIONES, COMPENSACIÓN Y CÁLCULO DE LA CARBONO NEUTRALIDAD</i>	64
5.3.1	Plan de gestión de las reducciones	64
5.3.2	Cuantificación de las reducciones del 2020	65

5.3.2.1	Reducciones en el consumo de energía eléctrica	65
5.3.2.2	Reducciones en el consumo de combustibles fósiles	66
5.3.3	Cálculo de compensación del 2020	68
5.3.4	Cálculo de la carbono neutralidad	69
5.4	<i>MANUAL PARA CUANTIFICAR EMISIONES DEBIDO A LAS ACTIVIDADES PECUARIAS</i>	69
5.4.1	Factores de emisión calculados mediante el manual elaborado	69
5.4.2	Comparación de resultados al aplicar ambas metodologías	70
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
7	REFERENCIAS	75
	Apéndice 1: INVENTARIO DE LA FLOTILLA VEHICULAR	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Emisiones mundiales de GEI por sectores económicos. (IPCC, 2014).....	4
Figura 3.2. Índice global de temperatura de la tierra y océano. (Global Temperature Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet, n.d.).....	5
Figura 3.3. Distribución de emisiones y remociones de GEI expresadas en dióxido de carbono equivalente en Costa Rica para el 2012. (Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono, 2012).....	9
Figura 4.1. Ubicación de las fincas del CTLSC.	16
Figura 5.1. Diagrama de los componentes del Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad.	32
Figura 5.2. Aporte porcentual de cada alcance al inventario de GEI.....	53
Figura 5.3. Contribución porcentual de cada fuente de emisión al inventario de GEI.	53
Figura 5.4. Contribución porcentual de cada actividad al inventario de GEI, omitiendo las emisiones generadas por PPA específicamente por los animales.	54
Figura 5.5. Aporte porcentual de cada fuente de alcance 1.....	56
Figura 5.6. Distribución porcentual del aporte de las actividades pecuarias en la generación de emisiones.	57
Figura 5.7. Distribución porcentual del aporte de las actividades consumidoras de combustibles en la generación de emisiones.....	58
Figura 5.8. Emisiones mensuales de dióxido de carbono equivalente debido al consumo de electricidad.	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1. Estudios de cuantificación de emisiones de GEI realizados en universidades. (Yañez et al., 2020)	7
Cuadro 4.1. Factores de emisión utilizados para el cálculo de GEI generados.	19
Cuadro 4.2. Potenciales de calentamiento global.	21
Cuadro 5.1. Fuentes de emisión de GEI identificadas por alcance.	31
Cuadro 5.2. Lista maestra de los procedimientos y formatos de registros del marco documental.	33
Cuadro 5.3. Departamentos y estancias responsables de la información por fuente de emisión.	34
Cuadro 5.4. Método de recopilación de datos para el consumo de combustibles fósiles.	36
Cuadro 5.5. Consumo mensual de combustibles fósiles por actividad.	37
Cuadro 5.6. Información de recargas de refrigerantes.	40
Cuadro 5.7. Consumo mensual de lubricantes.	41
Cuadro 5.8. Cantidad de fertilizantes aplicados.	42
Cuadro 5.9. Parámetros de caudal y demanda química de oxígeno para el agua residual generada.	43
Cuadro 5.10. Nomenclatura para la clasificación del ganado vacuno de carne.	45
Cuadro 5.11. Nomenclatura para la clasificación del ganado vacuno de leche.	45
Cuadro 5.12. Cantidad de cabezas de ganado por tipo de animal.	47
Cuadro 5.13. Cabezas de ganado vacuno y porcino que ingresaron a la planta de matanza mensualmente.	48
Cuadro 5.14. Cantidad de residuos compostados mensualmente.	49
Cuadro 5.15. Consumo eléctrico mensual.	50
Cuadro 5.16. Resultados de la generación mensual de residuos sólidos no valorizables para las metodologías empleadas.	51
Cuadro 5.17. Emisiones de dióxido de carbono equivalente por alcance.	52
Cuadro 5.18. Emisiones de dióxido de carbono equivalente correspondientes al alcance 1.	55
Cuadro 5.19. Emisiones mensuales de dióxido de carbono equivalente del alcance 3.	59

Cuadro 5.20. Emisiones de dióxido de carbono equivalente per cápita de diferentes sedes del Tecnológico de Costa Rica.	60
Cuadro 5.21. Porcentaje de aporte al inventario de emisiones por fuente.....	61
Cuadro 5.22. Incertidumbre calculada del inventario de emisiones.....	63
Cuadro 5.23. Resumen del Plan de Gestión de Reducciones.....	64
Cuadro 5.24. Potencia de las luminarias tipo fluorescente y LED.....	66
Cuadro 5.25. Consumo eléctrico y generación de emisiones antes y después del cambio de luminarias.....	66
Cuadro 5.26. Viajes compartidos realizados durante el 2020.	67
Cuadro 5.27. Datos para el cálculo de la compensación del 2020.....	68
Cuadro 5.28. Factores de emisión obtenidos para las categorías de ganado de carne al aplicar el manual elaborado.	70
Cuadro 5.29. Comparación de los resultados de toneladas de CO₂ e aplicando ambos métodos.....	71
Cuadro 5.30. Comparación de las emisiones totales cuantificadas según cada metodología, omitiendo las emisiones de N₂O por gestión del estiércol.	71

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AA	Aspectos Ambientales
CER	Certified Emission Reduction
CH₄	Metano
CIDASTH	Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible en el Trópico Húmedo
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
CTEC	Centro de Transferencia Tecnológica y Educación Continua
CTLSC	Campus Tecnológico Local San Carlos
DCC	Dirección de Cambio Climático
DQO	Demanda química de oxígeno
EDGBC	Estrategia de Ganadería baja en Carbono
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
GASEL	Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral
GEI	Gases con efecto invernadero
GLP	Gas licuado de petróleo
HFC	Hidrofluorocarbonos
ICAO	Organización de Aviación Civil Internacional
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INTECO	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
NAMA	Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
N₂O	Óxido Nitroso
NO_x	Óxidos Nitrosos
PBAE	Programa Bandera Azul Ecológica
PCG	Potencial de Calentamiento Global
PFC	Perfluorocarbonos
PGAI	Programa de Gestión Ambiental Institucional
PPA	Programa de Producción Agropecuario
PPCN	Programa País Carbono Neutral

PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
PSA	Pago por Servicios Ambientales
SESLab	Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad
SF₆	Hexafluoruro de Azufre
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
SGCN	Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad
UCC	Unidades Costarricenses de Compensación
UT	Unidad de Transportes
VER	Voluntary Emission Reduction

RESUMEN

El rápido aumento de la temperatura global consecuencia de la constante emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a raíz del ser humano, requiere de acciones concretas que pongan límite a los impactos negativos. A nivel organizacional, es posible direccionar los esfuerzos para mitigar el cambio climático mediante la cuantificación, reducción y compensación de las emisiones de GEI. Por este motivo, se propuso un sistema de gestión de la carbono neutralidad (SGCN) según lo establecido por el Programa País Carbono Neutralidad (PPCN 2.0) y la Norma INTE B5:2016 “Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad”, en el Campus Tecnológico Local San Carlos (CTLSC), sede del Tecnológico de Costa Rica. Para esto, se elaboró un marco documental, un inventario de emisiones de GEI y un plan de gestión de reducción de emisiones; además, se confeccionó un manual para la cuantificación de emisiones de las actividades pecuarias de la institución. De esta forma, se determinó que el CTLSC emitió durante el 2020 un total de 1610,522 t CO₂ e, siendo las fuentes de mayor aporte los animales, el consumo de combustibles y el uso de refrigerantes. Además, al implementar el plan de gestión de reducciones fue posible evitar 1,55 t CO₂ e y se determinó que para neutralizar el total de emisiones es necesario invertir alrededor de \$12 079 por concepto de certificados de carbono. Finalmente, se calcularon factores de emisión propios para estimar una generación de 1121,14 t CO₂ e debido a fermentación entérica y manejo del estiércol del ganado de carne del Campus; mientras que, al aplicar los factores de emisión por defecto, se obtuvieron 916,93 t CO₂ e, lo que representó que, al incluir variables propias de la institución en el cálculo de estas emisiones, las mismas aumentan un 22%.

Palabras clave: sistema de gestión de la carbono neutralidad, inventario de gases de efecto invernadero, emisiones de actividades pecuarias.

ABSTRACT

The rapid increase in global temperature as a consequence of the constant emission of greenhouse gases (GHG) caused by humans requires concrete actions that limit negative impacts. At the organizational level, it is possible to direct efforts to mitigate climate change by quantifying, reducing and offsetting GHG emissions. For this reason, a carbon neutrality management system (SGCN) was proposed as established by the Country Carbon Neutrality Program (PPCN 2.0) and the INTE B5: 2016 Standard “Standard to Demonstrate Carbon Neutrality”, in the Technological Campus Local San Carlos (CTLSC), headquarters of the Technological of Costa Rica. For this, a documentary framework, an inventory of GHG emissions and an emissions reduction management plan were drawn up; In addition, a manual was prepared for the quantification of emissions from the institution's livestock activities. In this way, it was determined that the CTLSC emitted a total of 1,610,522 t CO₂e during 2020, the sources of greatest contribution being animals, fuel consumption and the use of refrigerants. In addition, by implementing the reduction management plan it was possible to avoid 1.55 t CO₂ e and it was determined that to neutralize the total emissions it is necessary to invest around \$ 12,079 for carbon certificates. Finally, own emission factors were calculated to estimate a generation of 1121.14 t CO₂ e due to enteric fermentation and management of manure from beef cattle on Campus; while, when applying the default emission factors, 916.93 t CO₂ e were obtained, which represented that, by including the institution's own variables in the calculation of these emissions, they increased by 22%.

Key words: carbon neutrality management system, greenhouse gas inventory, emissions from livestock activities.

1 INTRODUCCIÓN

La generación continua de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, ha provocado un mayor calentamiento y cambios en todos los componentes del sistema climático, aumentando la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas. Mitigar el cambio climático requiere reducciones sustanciales y sostenidas de estas emisiones que, junto con la adaptación, pueden limitar estos riesgos (*Key Findings / United Nations*, n.d.). Por este motivo, han surgido organizaciones y convenios a nivel mundial, con el fin de implementar medidas para el control de las emisiones.

A nivel nacional, un ejemplo es el Programa País de Carbono Neutralidad (PPCN), una iniciativa que establece un mecanismo voluntario para el reporte de inventarios de GEI y la demostración de acciones de reducción y remoción de emisiones, así como la carbono neutralidad (Mora & Equipo Técnico PMR-Costa Rica, 2016). Esto con el fin de apoyar el compromiso nacional de alcanzar una reducción del 50% de las emisiones para el año 2050 en comparación con las emisiones del 2012 y establecer una economía libre de carbono para el año 2100 (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015).

La participación de organizaciones públicas y privadas es clave para lograr los objetivos nacionales en materia de acción climática, debido a esto el Campus Tecnológico Local San Carlos (CTLSC), sede del Tecnológico de Costa Rica, tiene la meta de conocer y reducir su aporte al cambio climático. Esto, mediante la consolidación de un Sistema de Gestión para la Carbono Neutralidad (SGCN), que busca cuantificar las emisiones y remociones de GEI, ejecutar proyectos de reducción y en caso de ser necesario compensar aquellas emisiones que no sea posible remover o reducir.

De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo final de graduación consiste en la elaboración de este SGCN, el cual comprende una serie de documentos para la implementación, evaluación y mejora continua de la gestión de las emisiones. De esta manera, la institución será capaz de reportar, reducir, compensar y verificar anualmente la generación de GEI. Además, se incluye la realización de un manual para cuantificar las emisiones debido a las actividades pecuarias del CTLSC, de modo que se consideren variables representativas de las condiciones en que estas se desarrollan.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar el sistema de gestión para la certificación carbono neutral del Campus Tecnológico Local San Carlos, usando como referencias las normas INTE B5:2016 e ISO 14064:2006.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar el marco documental del sistema de gestión de carbono neutralidad.
- Cuantificar las emisiones, reducciones y la compensación de las emisiones de GEI para el año 2020.
- Elaborar una metodología para cuantificar las emisiones de GEI debido a la actividad pecuaria del CTLSC.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja. Los principales GEI 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 (O_3) (*IPCC DDC Glossary*, n.d.). La presencia de estos gases, provoca un fenómeno natural denominado Efecto Invernadero, que consiste en el impedimento del escape de la radiación solar al espacio, una vez que ha ingresado para ser absorbida parcialmente y calentar la superficie de la Tierra (Anderson et al., 2016).

Este efecto natural ha sido alterado por el incremento de una serie de gases de origen antropogénico, como los halocarbonos y otras sustancias, por ejemplo: el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC), los clorofluorocarbonos (CFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (*IPCC DDC Glossary*, n.d.). Todos ellos utilizados para diversos fines, como la refrigeración, la fabricación de productos de espuma, la extinción de incendios, la fumigación de cultivos y la producción de polímeros (Toohey, 2015).

Estos gases provocan que de los 341 W/m^2 de radiación solar total recibida en la tierra anualmente, las nubes, aerosoles y gases atmosféricos reflejen aproximadamente 102 W/m^2 , mientras el restante 239 W/m^2 es absorbido por estos GEI e impiden su escape al exterior (Ranadhir Mukhopadhyay, 2018).

El seguimiento de estos gases se realiza mediante un inventario. Este consiste en la cuantificación de los GEI más importantes emitidos directamente por las actividades humanas, los cuales son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (WBCSD & WRI, 2012). Para cada gas se toma en cuenta dos factores: el potencial de provocar calentamiento global y un factor de emisión representativo que relaciona la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera, con la actividad asociada a su liberación. Los factores de emisión generalmente se expresan como el peso del contaminante dividido por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante (Cheremisinoff, 2011).

Desde la era preindustrial (alrededor de 1750) hasta el 2017, las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O han aumentado globalmente en un 45, 164 y 22 por ciento, respectivamente (IPCC, 2017). La distribución mundial de estas emisiones al 2010 (Figura 3.1) incluye como sectores responsables la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU), el suministro de energía, la industria, el transporte y los edificios. Los cuales alcanzaron un aporte de 49 giga toneladas de CO₂ equivalente mundiales cuantificadas en ese año (IPCC, 2014).

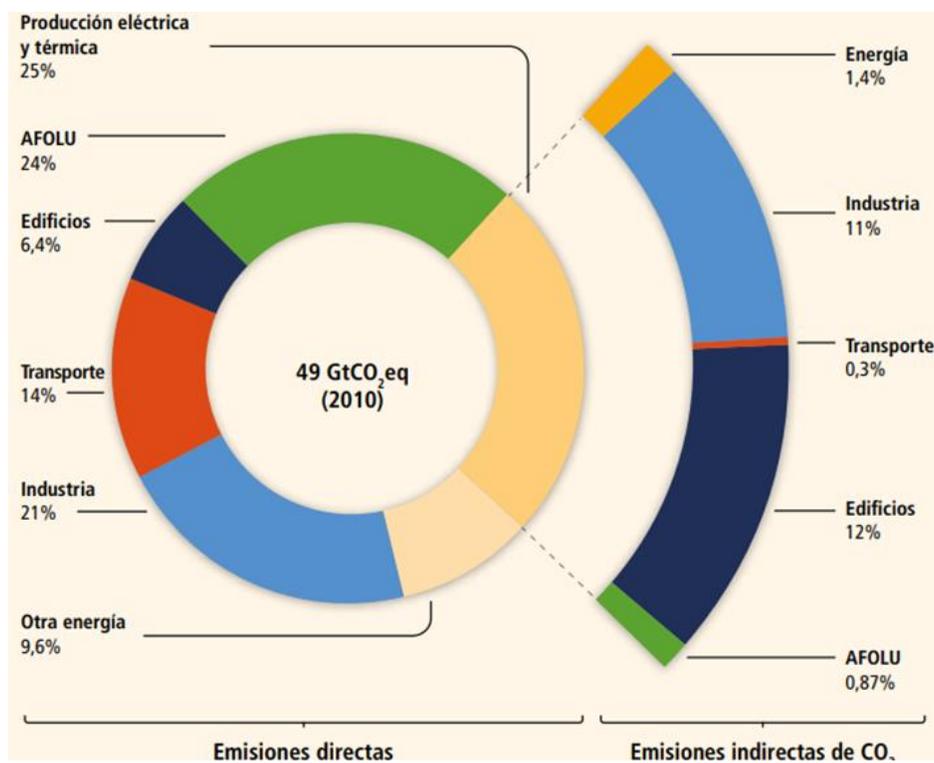


Figura 3.1. Emisiones mundiales de GEI por sectores económicos. (IPCC, 2014)

El incremento de las emisiones de GEI producto de las actividades humanas, ha dado como resultado el calentamiento global. Como se muestra en la Figura 3.2, desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, la temperatura del Planeta ha aumentado considerablemente. Según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es posible que el calentamiento global llegue a 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (IPCC, 2019).

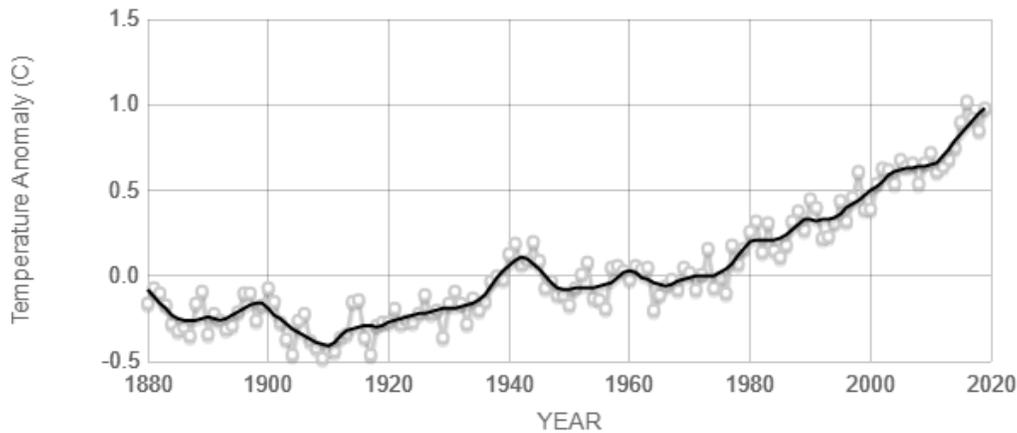


Figura 3.2. Índice global de temperatura de la tierra y océano. (*Global Temperature / Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet, n.d.*)

El equilibrio climático de la Tierra depende de la diferencia entre la energía total recibida del Sol y parte de la energía que se devuelve al espacio exterior. La alteración de dicho equilibrio tiene como consecuencia la modificación del clima, ya que este es determinado en gran medida por la química y física de la tropósfera (de la superficie a 11 km de altura). Cualquier alteración en dicho entorno fisicoquímico provoca el cambio climático, un término acuñado por primera vez en 1966 por la Organización Meteorológica Mundial para abarcar todas las formas de variabilidad climática en escalas de tiempo de hasta diez años (Ranadhir Mukhopadhyay, 2018).

Entre los impactos potenciales y riesgos asociados del cambio climático están el incremento de las temperaturas extremas en muchas regiones y el aumento de la frecuencia, intensidad o cantidad de las precipitaciones y sequías. También se predice un incremento en el nivel del mar provocando intrusiones de agua salada, inundaciones y daños en infraestructuras. Se predice que, de las 105 000 especies estudiadas en el mundo, el 6% de los insectos, el 8% de las plantas y el 4% de los vertebrados, pierdan más de la mitad de su alcance geográfico determinado climáticamente, lo que plantea una gran alteración a los ecosistemas mundiales. Además, se prevé afectaciones en la salud, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico (IPCC, 2019).

3.2 SITUACIÓN MUNDIAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

La necesidad de acción política para regular el uso futuro de los recursos naturales, dio como resultado que, a partir del año 1972 con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, los países debatieran sobre los problemas ambientales internacionales (Weijermars, 2011). Tiempo después, se creó el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el cual se encarga de evaluar de manera integral, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para comprender el riesgo inducido por el hombre del cambio climático, sus posibles impactos y opciones de adaptación y mitigación (IPCC, n.d.).

Seguidamente, surgió la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual se diseñó principalmente como un medio para iniciar y apoyar el proceso de acuerdos futuros y más detallados sobre cómo responder al cambio climático. En respuesta a la reducción de GEI surge el Protocolo de Kioto, el cual impuso límites vinculantes a la emisión de GEI. Según este, los países industrializados se comprometieron a reducir sus emisiones en un 5,2% respecto a sus niveles de 1990 (Kuh, 2017).

Entre los últimos eventos internacionales y de alta relevancia sobre el cambio climático, se encuentra el Acuerdo de París sobre el Clima (COP21), celebrada en diciembre del 2015, la cual anuncia el objetivo de mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de 2 °C, limitándola a 1,5°C, para evitar efectos catastróficos en los países más vulnerables ante impactos naturales. El Acuerdo requiere que todas las partes, tanto desarrolladas como en desarrollo, preparen y presenten contribuciones previstas determinadas a nivel nacional, objetivos y acciones de reducción de emisiones, y con ello, establecer un plan de acción mundial que pone límite al calentamiento global (Kuh, 2017).

Estas acciones han resonado en organizaciones tanto públicas como privadas en todo el mundo. Específicamente las universidades han jugado un papel muy importante, ya que muchas han cuantificado sus emisiones de GEI y tomado acciones de mitigación y adaptación al cambio climático. Algunos ejemplos de cuantificación de emisiones de GEI en universidades, se muestra en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Estudios de cuantificación de emisiones de GEI realizados en universidades. (Yañez et al., 2020)

Autores	Año	País	Método	Resultados	Universidad
(Ferreira et al., 2018)	2018	España	ISO 14064	0,31 t CO ₂ e por estudiante 2,69 t CO ₂ e por empleado	Universidad Politécnica de Valencia
(Güereca et al., 2013)	2013	México	Greenhouse Gas (GHG) Protocol	1,46 t CO ₂ e por persona	Universidad Autónoma Nacional de México
(Li et al., 2015)	2011	Sudáfrica	GHG Protocol adaptado	4,0 t CO ₂ e por estudiante	Universidad de Ciudad del Cabo
(Larsen et al., 2013)	2013	Noruega	GHG Protocol	4,6 t CO ₂ e por estudiante 16,7 t CO ₂ e por empleado	Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología
(Almufadi & Irfan, 2016)	2016	USA	GHG Protocol	7,9 t CO ₂ e por estudiante	Universidad de Delaware
				13,1 t CO ₂ e por estudiante	Universidad de Pensilvania
				24,6 t CO ₂ e por estudiante	Universidad de Yale
				36,4 t CO ₂ e por estudiante	Instituto Tecnológico de Massachusetts

Fuente: (Yañez et al., 2020)

3.3 SITUACIÓN EN COSTA RICA

En respuesta a las iniciativas internacionales Costa Rica firma en 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (*El PNUD En Costa Rica*, n.d.), asimismo en el 2002 se ratifica el Protocolo de Kioto. Estos hechos provocaron que Costa Rica tomara acciones para la disminución de GEI, proponiendo en el 2009, una Estrategia Nacional para el Cambio Climático. Esta constituye el punto de partida de un diálogo nacional para crear las condiciones y avanzar hacia la instauración de un nuevo rumbo en la economía del país, con un contenido cada vez menor de emisiones (*National Strategy for Carbon Neutrality*, 2009).

En esta estrategia nacional se busca reducir los impactos sociales, ambientales y económicos del cambio climático, así como, tomar ventaja de las oportunidades, promoviendo el desarrollo sostenible mediante el crecimiento económico, el progreso social y la protección ambiental, por medio de iniciativas de mitigación y acciones de adaptación, para que el país

mejore la calidad de vida de sus habitantes y ecosistemas, al dirigirse hacia una economía carbono neutral competitiva (*National Strategy for Carbon Neutrality*, 2009).

A partir de esto, surgió en el año 2012 el Programa País Carbono Neutralidad (PPCN), con el objetivo de brindar un mecanismo que reconoce la adecuada gestión de las emisiones de GEI a organizaciones públicas y privadas, y así, lograr los compromisos del país en materia de acción climática. Este programa usa como estándar de referencia la INTE B5: “Norma para demostrar la Carbono Neutralidad”, que a su vez se basa en la norma ISO 14064.

Asimismo, en el 2018 se lanzó una nueva versión de este programa denominado Programa País Carbono Neutralidad 2.0 (PPCN 2.0), en donde se establecieron cinco categorías de participación para diferenciar los procesos de gestión y las organizaciones que cumplen con el programa, las cuales son: Carbono Inventario, Carbono Reducción, Carbono Reducción Plus, Carbono Neutral y Carbono Neutral Plus. Cada categoría cuenta con un distintivo propio y certifica el nivel de compromiso suscrito por las organizaciones (Dirección de Cambio Climático, 2019).

Este nuevo contexto del PPCN 2.0 se encuentra alineado con los objetivos de mitigación del país, establecidos en los compromisos internacionales. Costa Rica tiene el objetivo de alcanzar la carbono neutralidad para el 2050, como parte de las acciones para cumplir con los requerimientos del Acuerdo de París. En donde el país se comprometió a un máximo absoluto de emisiones de 9 374 000 toneladas de CO₂ equivalentes netas al 2030, con una trayectoria propuesta de emisiones de 1,73 toneladas netas per cápita para el 2030; 1,19 toneladas netas per cápita al 2050 y -0,27 toneladas netas per cápita al 2100. Este compromiso nacional representa, al 2030, una reducción de emisiones de GEI de 25% contrapuesto con el resultado del inventario de GEI realizado el 2012, el cual se muestra en la Figura 3.3 (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015).

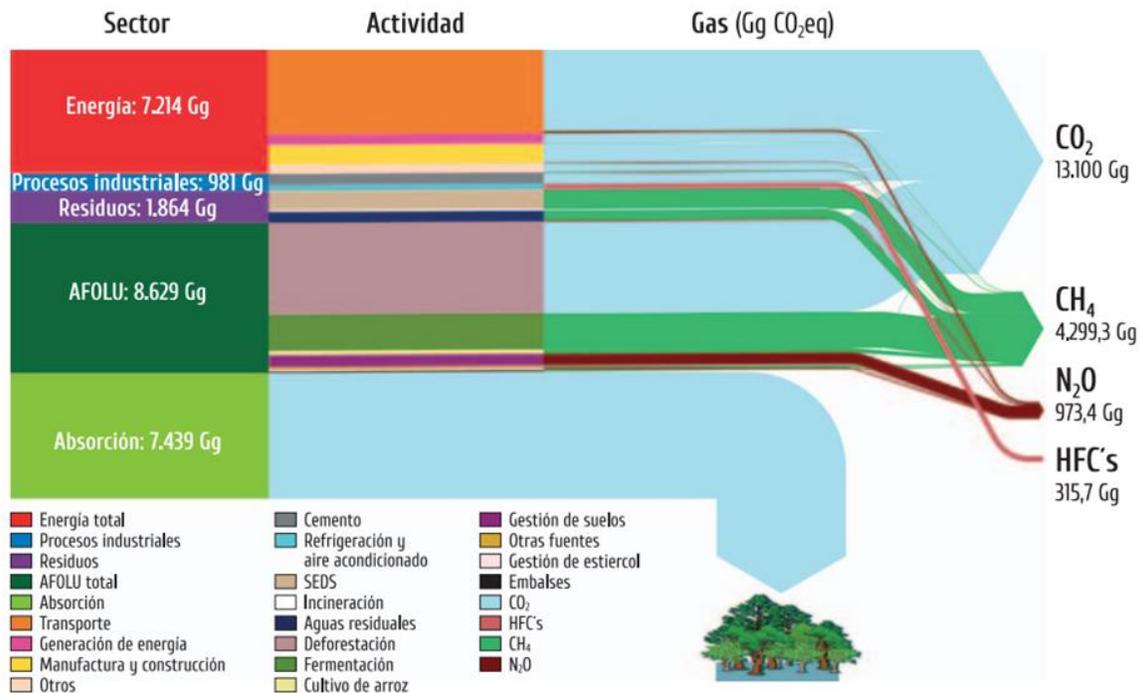


Figura 3.3. Distribución de emisiones y remociones de GEI expresadas en dióxido de carbono equivalente en Costa Rica para el 2012. (Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Absorción de Carbono, 2012)

Las emisiones de GEI a nivel país provienen de los sectores: AFOLU, energía, residuos y procesos industriales, respectivamente, todos contemplados en el Plan Nacional de Descarbonización, lanzado por el gobierno en el 2018. Este tiene como meta principal contar con una economía descarbonizada en 2050, que haya alcanzado el nivel de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática global (*Plan Nacional de Descarbonización, 2018*).

Sin embargo, las emisiones de GEI en Costa Rica han ido en aumento. Según los datos oficiales del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero y absorción de carbono, en el 2012 (Figura 3.3) las emisiones fueron 11,2 millones de toneladas de CO₂ equivalente (comparado con 9,6 millones en 2010 y 7,6 millones en 2005). Además, se ha estimado que, de no tomar medidas, las emisiones del país aumentarán en un 2,4% anual: habrán crecido 60% entre 2015 y 2030, y podrían llegar a subir 132% en 2050 para alcanzar un nivel de 29,6 millones de toneladas de CO₂ equivalente, en el peor escenario (*Plan Nacional de Descarbonización, 2018*).

Por esta razón, organizaciones de todo el país, se han sumado a la adecuada gestión de las emisiones de GEI, al formar parte de iniciativas nacionales como el PPCN. Un ejemplo es el

Tecnológico de Costa Rica, una institución nacional autónoma de educación superior, que ha tomado medidas de mitigación al cambio climático en todos sus campus y certificó como carbono neutral su Campus Central y el Campus Local San José en el 2018 y 2019, respectivamente (*Hoy En El TEC*, n.d.)

3.4 SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL

A nivel organizacional el control de los aspectos ambientales inicia mediante un sistema de gestión ambiental (SGA). Esta herramienta permite que una organización de cualquier tamaño o tipo, controle el impacto de sus actividades, productos o servicios al medio ambiente (Cheremisinoff et al., 2008). Las organizaciones hacen esfuerzos para adoptar SGA debido a que, la reducción de la contaminación significa una mayor eficiencia y menos desperdicio de recursos. Además, las empresas se vuelven más competitivas cuando practican una buena gestión ambiental.

En consecuencia, a medida que la gestión proactiva de los aspectos ambientales converge con la gestión de riesgos, el gobierno corporativo y el desempeño operativo y financiero, hace que las Normas Internacionales se estén volviendo más importantes para que las organizaciones trabajen hacia prácticas de gestión ambiental que apoyan la sostenibilidad de las organizaciones (Wong et al., 2015). Como resultado a esta necesidad, surge por parte del Organización Internacional para la Estandarización (ISO), la familia de normas ISO 14000 que establecen los criterios para un sistema de gestión ambiental (*ISO - About Us*, n.d.).

El control de las emisiones de GEI de una organización, es un aspecto importante en el SGA, por esta razón, se toma en cuenta la norma ISO 14064, ya que ofrece claridad y coherencia en la cuantificación, el seguimiento y la validación o verificación de emisiones y remociones de GEI para apoyar el desarrollo sostenible (*ISO 14064*, 2018) . La norma anterior, fue tomada como referencia para la elaboración de la norma nacional INTE B5:2016, desarrollada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), la cual establece los requisitos que debe cumplir una organización para demostrar la carbono neutralidad.

3.5 CARBONO NEUTRALIDAD

La norma nacional para demostrar la carbono neutralidad (INTE B5:2016) anteriormente mencionada, toma como base la norma ISO 1464:2006, en donde se define la carbono neutralidad mediante la Ecuación 1:

$$\sum E - \sum R - \sum C = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E: medición o estimación verificable de las emisiones totales y/o remociones del año o periodo al que corresponde el inventario, dentro del límite operativo establecido por la organización.

R: disminución de emisiones de GEI lograda por la organización mediante la implementación de acciones a través del tiempo, dentro del periodo de reporte.

C: mecanismo de nivelación para todo el inventario de GEI o parte de él, de una organización, que puede ocurrir directamente al prevenir la liberación, reducir o remover una cantidad de emisiones de GEI en un proceso por fuera de los límites operativos de la organización, e indirectamente mediante la adquisición de reducciones de GEI generadas por una tercera parte.

3.5.1 Inventario de emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero

Al realizar el inventario de emisiones y remociones de GEI se debe definir el alcance de la cuantificación según los límites organizacionales y operativos de la organización. Seguidamente se determina la metodología de cuantificación, la cual puede ser por cálculos basados en datos de las fuentes o sumideros de GEI, multiplicados por los factores de emisión oficializados (INTECO, 2016).

En la etapa de cuantificación de las emisiones de GEI, se realiza la clasificación de los alcances de acuerdo con el Protocolo GHG (las siglas equivalen a Greenhouse Gases o Gases de Efecto Invernadero), donde se considera que las emisiones de alcance 1 son emisiones directas de fuentes que son propiedad y están controladas por la organización. Por otro lado, las emisiones indirectas son emisiones que son consecuencia de actividades de la organización, que se producen en fuentes de propiedad o controladas por otra empresa. Estas incluyen emisiones de alcance 2 y alcance 3. El alcance 2 contempla las emisiones de la energía comprada o adquirida y consumida por la organización (WRI, 2015). Las emisiones

de alcance 3 provienen de las actividades corriente arriba o corriente abajo de la organización (lo que sucede antes y después del proceso productivo), así como emisiones asociadas a la manufactura realizada por terceros a cuenta de la organización o subcontratos, arrendamientos o franquicias no incluidos en los alcances 1 y 2 (Dirección de Cambio Climático, 2019).

Por otro lado, es posible considerar las remociones mediante la cuantificación de sumideros de GEI propios de la organización. Se conoce como sumidero a todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis (proceso por el que se captan CO₂ de la atmósfera con ayuda de la luz solar, y se utiliza en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares). Mediante esta función, los sumideros que posee la organización contienen CO₂ que compensa las emisiones de GEI (FAO, n.d.).

Los resultados del inventario de emisiones de GEI deben ser reportados en una sola unidad de medida, la tonelada de dióxido de carbono equivalente (t CO₂ e). Además, es posible excluir de la cuantificación las fuentes de GEI directas o indirectas que individualmente y en sumatoria no superen el 3% del inventario total. En cuanto a la evaluación de la incertidumbre asociada al inventario de emisiones y remociones de GEI, se debe tomar en cuenta tanto la proveniente de los datos de la actividad como del factor de emisión o remoción empleado (INTECO, 2016).

3.5.2 Reducción de Gases de Efecto Invernadero

A partir del inventario, se cuenta con la información necesaria para identificar cuáles son las fuentes que generan la mayor cantidad de emisiones de GEI. Para estas emisiones, preferiblemente se deben establecer proyectos o estrategias para su reducción, conocidas como acciones de mitigación. Esto implica la implementación de tecnologías limpias en áreas como electricidad, transporte y residuos sólidos, que impulsen el aumento de la eficiencia energética, reducir los costos y ayudar a diferenciar a la organización en un mercado cada vez más consciente del medio ambiente (Dirección de Cambio Climático, 2019).

3.5.3 Compensación de Gases de Efecto Invernadero

Si al realizar el inventario de emisiones y remociones de GEI y restarle las reducciones que alcanzó la organización, no se obtiene un resultado menor o igual a cero, es necesario contrarrestar estas emisiones. Esto se logra mediante la compensación, metodología por la cual la remoción de CO₂ e de la atmósfera pueden adquirirse voluntariamente por mecanismos de compensación reconocidos (INTECO, 2016).

En los mercados de carbono y GEI, las unidades de compensación corresponden a una tonelada de dióxido de carbono equivalente, reducido, evitado o secuestrado por una entidad para compensar la emisión de esa tonelada. Los mecanismos de compensación permitidos por el PPCN son: Certified Emission Reduction (CER), Voluntary Emission Reduction (VER): Gold Standard and Voluntary Carbon Standard y las Unidades Costarricenses de Compensación (UCC) (Mora & Equipo Técnico PMR-Costa Rica, 2016).

El Certified Emission Reduction (CER) es entregado por Naciones Unidas (UNFCCC) una vez que se ha confirmado que un proyecto de mitigación efectivamente está reduciendo t CO₂ e. El Voluntary Emission Reduction (VER): Gold Standard and Voluntary Carbon Standard, es un mecanismo voluntario extranjero, que utiliza infraestructura de la calidad equivalente a la que se utiliza en Costa Rica en lo que se refiere a la acreditación y la verificación de proyectos de mitigación de emisiones de GEI (Dirección de Cambio Climático, 2019).

En el caso del proceso de compensación por medio de las UCC, actualmente se realiza mediante el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Esta organización maneja el Pago de Servicios Ambientales (PSA), el cual consiste en un reconocimiento financiero a los propietarios de bosque o plantaciones forestales por los servicios ambientales que éstos proveen y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente (*FONAFIFO / Sitio Web*, n.d.). De esta forma, las organizaciones que invierten en compensar sus emisiones, financian este reconocimiento económico que realiza el FONAFIFO.

3.6 EMISIONES DE GEI DEBIDO A ACTIVIDADES PECUARIAS

Las emisiones debido a las actividades pecuarias, representan aproximadamente el 11% de las emisiones mundiales de GEI (FAO and Global Research Alliance on Agricultural

Greenhouse Gases, 2020). Estas emisiones contemplan la fermentación entérica en el ganado, lo cual es un proceso que tiene lugar en el aparato digestivo, donde microorganismos residentes descomponen mediante procesos de fermentación anaeróbica los carbohidratos de los alimentos ingeridos por el animal, produciendo diferentes subproductos como el CH₄ (Dong et al., 2006). Además, la gestión del estiércol también implica generación de GEI como CH₄ y emisiones directas e indirectas de N₂O, de acuerdo a la disposición que se le da a las excretas (Dong et al., 2006).

Para responder al cambio climático, las Partes del Acuerdo de París, presentaron una forma de rastrear el progreso en este tema, a través de inventarios nacionales de GEI. De esta manera, se encontró que entre 140 países en desarrollo, 92 han incluido emisiones relacionadas con el ganado, pero muy pocos tienen inventarios nacionales de GEI capaces de rastrear cambios en las emisiones del ganado debido a políticas y medidas de mitigación (FAO and Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases, 2020).

La principal brecha es que la gran mayoría de los inventarios de GEI utilizan el enfoque de Nivel 1 del IPCC, que solo puede reflejar cambios en la cantidad de cabezas de ganado. El seguimiento de los cambios en la gestión y la productividad requiere un enfoque de Nivel 2, el cual utiliza principalmente datos de actividad para estimar las emisiones. La falta de datos de actividad y los datos incompletos o de mala calidad son obstáculos comúnmente percibidos para utilizar un enfoque de Nivel 2 (FAO and Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases, 2020).

3.6.1 Emisiones de GEI debido a actividades pecuarias en Costa Rica

La ganadería bovina constituye una de las principales y más importantes actividades económicas en Costa Rica; por ello, esta cubre la extensión de una quinta parte del territorio nacional con 1,4 millones de hectáreas de tierra dedicadas a la actividad. Sumado a esto, el sector ganadero se ha constituido históricamente en una fuente significativa de emisiones de GEI, representando un 25% de las emisiones del sector AFOLU en el 2012 con 2 084 gigagramos de CO₂ e, según el Instituto Meteorológico Nacional (Chacón et al., 2015).

Una iniciativa para reducir las emisiones debido a las actividades pecuarias, es la Estrategia de Ganadería baja en Carbono (EDGBC) en Costa Rica, la cual promueve prácticas en el sector, que al aplicarlas integralmente, reducen las emisiones de GEI por unidad de producto,

aumentan la captura de carbono en la finca, mejoran la adaptación al cambio climático y la productividad (Chacón et al., 2015). Uno de los mecanismos propuestos para implementar la EDGBC es la iniciativa Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA por sus siglas en inglés), este mecanismo es producto de la concertación público-privada para la transformación de la ganadería bovina hacia la eco-competitividad, promoviendo el uso de prácticas, tecnologías y medidas dirigidas al desarrollo de una ganadería climáticamente inteligente, rentable, productiva y socialmente sostenible (Nama Ganadería, 2015).

Específicamente en San Carlos la actividad ganadera forma parte de las principales actividades económicas del cantón. Por esta razón, en el inventario de emisiones de GEI elaborado por la Municipalidad de San Carlos para el 2018, el sector que más generó emisiones fue el de AFOLU con 299 285 t CO₂ e, asociado a una generación del 42% de las emisiones netas contabilizadas, donde específicamente el subsector de ganadería produjo 264 255 t CO₂ e para el año de reporte (Calderón et al., 2020).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El presente trabajo final de graduación consistió en el diseño e implementación de un sistema de gestión para optar por la certificación carbono neutralidad del Campus Tecnológico Local San Carlos (CTLSC), del Tecnológico de Costa Rica ubicado en la provincia de Alajuela, cantón San Carlos. El CTLSC comprende tres fincas llamadas La Vega, La Balsa y La Esmeralda, la ubicación de cada una de ellas se muestra en la Figura 4.1.

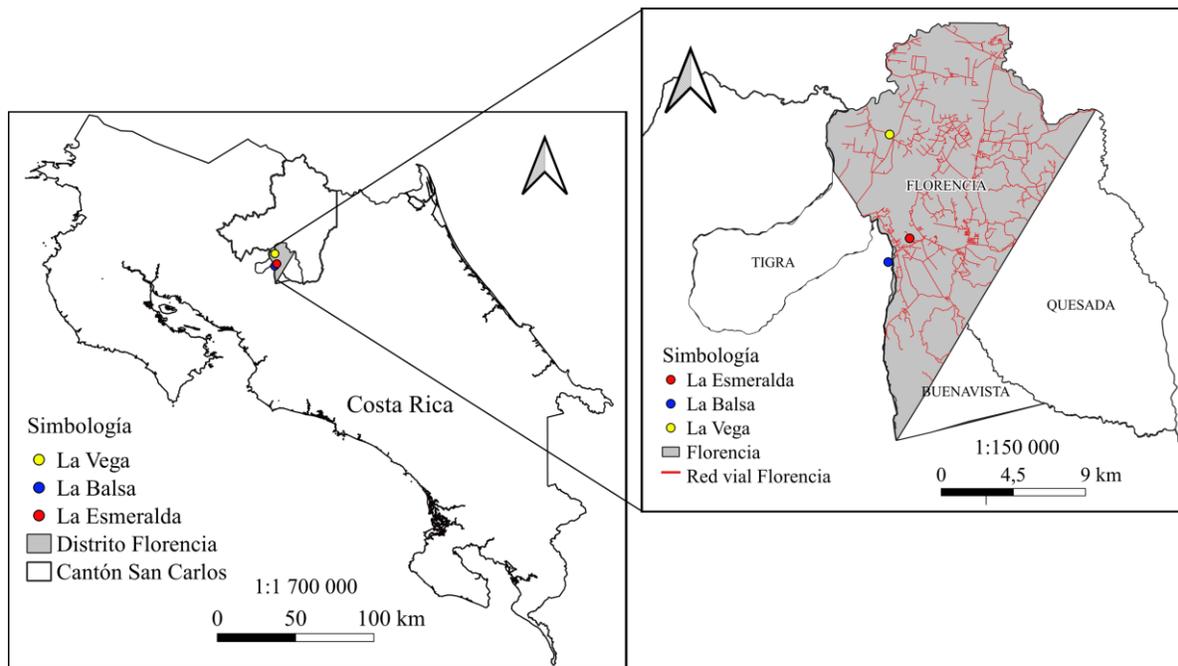


Figura 4.1. Ubicación de las fincas del CTLSC.

En las tres fincas se desarrollan labores del Programa de Producción Agropecuario (PPA), el cual está conformado por la Unidad de cultivos, Unidad de matanza, Unidad de carne y Unidad de producción animal. Sin embargo, en el caso de la finca La Esmeralda, además de esto, se llevan a cabo las actividades administrativas y académicas de la institución.

La Esmeralda cuenta con un área de construcción, de 35 500 metros cuadrados, incluye un complejo académico-administrativo, aulas, laboratorios, biblioteca, oficinas, residencias estudiantiles, casas para funcionarios, comedor, lavandería, áreas recreativas y deportivas, así como talleres de maquinaria agrícola, riego y drenaje, bodegas para el secado y concentrado de granos, lechería, granja porcina y una planta de matanza. Además, el Campus cuenta con el Centro de Transferencia Tecnológica y Educación Continua (CTEC),

importante para contribuir al desarrollo socioeconómico y tecnológico de la región (*Campus Tecnológico Local San Carlos / TEC, n.d.*).

El desempeño ambiental del CTLSC ha dado resultados positivos desde el 2010, cuando inició, de manera oficial, la recopilación de datos de los parámetros evaluados por el Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) y en años posteriores, para la participación en el Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE) en las categorías centros educativos y cambio climático. Sin embargo, considerando el compromiso de esta universidad a mejorar continuamente, el CTLSC tomó la iniciativa de conseguir la certificación carbono neutral.

Por este motivo, la metodología de este proyecto se dirige hacia el desarrollo del marco documental (procedimientos, formatos, registros) del SGCN, la cuantificación de emisiones, reducciones y la compensación de los GEI generados en dicha institución y finalmente, la elaboración de un manual para cuantificar las emisiones debido a las actividades pecuarias de las tres fincas.

4.2 DEFINICIÓN DEL ALCANCE

Este proyecto consideró la creación y aplicación del SGCN en las fincas del CTLSC, La Vega, La Balsa y La Esmeralda. El periodo de estudio fue de enero a diciembre del año 2020, tomando como límite organizacional el enfoque de control operacional, tal como lo establece el PPCN 2.0. Además, como límites operativos se tomaron en cuenta las emisiones directas (alcance 1), indirectas (alcance 2) y otras indirectas (alcance 3); de estas últimas, se seleccionaron solamente las debidas a la generación de residuos sólidos y los viajes aéreos por su relevancia en inventarios preliminares anteriormente desarrollados.

4.3 DESARROLLO DEL MARCO DOCUMENTAL

4.3.1 Identificación de las fuentes de GEI

El CTLSC cuenta con el PGAI, por lo que ya se encuentran documentados los aspectos ambientales (AA) del campus. De esta forma, la identificación de las fuentes de GEI se hizo mediante la selección de aquellos AA que generan emisiones de GEI, de acuerdo con el alcance establecido.

4.3.2 Elaboración de procedimientos, formatos de registros y lista maestra

Una vez determinadas las fuentes de emisión de GEI, se realizó un reconocimiento de la dinámica administrativa del CTLSC, en donde se identificaron los departamentos, unidades y puestos responsables del suministro de la información requerida, según las fuentes de emisión. A partir de esto, se desarrollaron procedimientos en conjunto con GASEL, considerando objetivo, alcance, documentos relacionados, responsables y una detallada descripción de los pasos a seguir para recolectar la información necesaria para elaborar el inventario de GEI.

De acuerdo a lo anterior, se realizó un formato de registro para cada fuente de emisión, utilizando la herramienta de Microsoft Excel. En cada uno de estos, se incluyó la información necesaria para cuantificar las emisiones y dar trazabilidad a la evidencia, añadiendo detalles adicionales que ofrecieran las mismas. Finalmente, se elaboró una lista maestra, la cual consiste en un listado de todos los documentos del SGCN.

4.4 CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI

4.4.1 Metodología de cuantificación

La cuantificación de las emisiones y reducciones se realizó según la metodología que dicta la ISO 14064:2006 “Gases de efecto invernadero”, la cual se fundamenta en el GHG Protocol y fue la base para crear la INTE B5: “Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad”. De esta forma, se utiliza como método de cálculo la aplicación de los factores de emisión documentados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).

4.4.2 Selección y recopilación de datos por actividad

Para la recolección y recopilación de los datos por actividad, se siguieron los procedimientos establecidos para el marco documental del SGCN, en donde se solicitó a los departamentos y cargos clave, la respectiva información por fuente de emisión. En el caso de fuentes como la generación de residuos sólidos y compost, se realizaron estudios de pesaje para estimar la generación mensual. De esta forma, los datos obtenidos se recopilaron haciendo uso de los

formatos de registros elaborados, archivando de manera digital las evidencias que respaldan esta información.

4.4.3 Selección de factores de emisión

Para las fuentes de consumo eléctrico, combustibles, extintores, agua residual, lubricantes de vehículos, lubricantes para motores de dos tiempos, animales, compostaje y residuos sólidos, se utilizaron los factores de emisión publicados por el IMN en la edición 2020, los cuales se muestran en el Cuadro 4.1. En el caso de agroquímicos se hizo uso de los factores de emisión recomendados por el IPCC, mientras que las emisiones debido a viajes aéreos se aproximaron mediante la calculadora de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO). Por otra parte, las emisiones generadas por el uso de acetileno se calcularon mediante un factor de emisión estimado al realizar el balance de masas que se muestra en la Ecuación 2:

$$1 \text{ kg } C_2H_2 * \frac{2 \text{ mol } C_2H_2}{2*26 \text{ kg } C_2H_2} * \frac{4 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } C_2H_2} * \frac{44 \text{ kg } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 3,38 \text{ kg } CO_2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Cuadro 4.1. Factores de emisión utilizados para el cálculo de GEI generados.

Fuente	Factores de emisión		
	CO ₂ (kg CO ₂ /unidad de la fuente)	CH ₄ (kg CH ₄ /unidad de la fuente)	N ₂ O (kg N ₂ O/unidad de la fuente)
Flotilla vehicular (L Diesel)	2,613	0,000149	0,000154
Flotilla vehicular (L Gasolina)	2,231	0,000907	0,000283
Generación eléctrica (L Diesel)	2,613	0,000122	0,00002442
Maquinaria (L Diesel)	2,613	0,000382	0,00002442
Maquinaria (L Gasolina)	2,231	0,000346	0,00002211
Gas Licuado de Petróleo (L GLP)	1,611	0,000139	0,000002745
Lubricantes (L lubricante)	0,5101	-	-
Lubricante motor de dos tiempos (L lubricante)	2,549	0,000348	0,000021
Acetileno (kg C ₂ H ₂)	3,38	No aplica	No aplica
Dióxido de Carbono (kg CO ₂)	1	No aplica	No aplica
Extintores (kg CO ₂)	1	No aplica	No aplica
Agroquímicos (Nitrógeno por aportes) (kg de Nitrógeno)	No aplica	No aplica	0,01

Fuente	Factores de emisión		
	CO ₂ (kg CO ₂ /unidad de la fuente)	CH ₄ (kg CH ₄ /unidad de la fuente)	N ₂ O (kg N ₂ O/unidad de la fuente)
Agroquímicos (Nitrógeno por lixiviación) (kg de Nitrógeno)	No aplica	No aplica	0,0075
Agroquímicos (Nitrógeno por volatilización) (kg de Nitrógeno)	No aplica	No aplica	0,01
Agua residual de tanque séptico (personas)	No aplica	0,05	No aplica
Tratamiento de agua residual (kg DQO)	No aplica	4,38	No aplica
Descarga a río (kg DQO)	No aplica	0,025	No aplica
Terneros para leche (cabezas)	No aplica	20,00	No aplica
Hembras en crecimiento para leche (cabezas)	No aplica	48,69	No aplica
Hembra adulta para leche (cabeza)	No aplica	85,00	No aplica
Terneros para carne (cabezas de ganado)	No aplica	19,48	No aplica
Hembras en crecimiento para carne (cabeza)	No aplica	63,61	No aplica
Machos en crecimiento para carne (cabezas)	No aplica	66,25	No aplica
Hembra adulta para carne (cabezas)	No aplica	85,80	No aplica
Macho adulto para carne (cabezas)	No aplica	111,70	No aplica
Ganado porcino (cabezas)	No aplica	1	No aplica
Búfalos (cabezas)	No aplica	55	No aplica
Caballos (cabezas)	No aplica	18	No aplica
Ganado manejo de estiércol (cabezas)	No aplica	1,0	No aplica
Caballos manejo de estiércol (cabezas)	No aplica	1,64	No aplica
Cerdos manejo de estiércol (cabezas)	No aplica	1,0	No aplica
Aves de corral manejo de estiércol (cabezas)	No aplica	0,02	No aplica
Compostaje (kg compost)	No aplica	0,004	0,0003
Electricidad (kWh)	0,0365	No aplica	No aplica
Residuos sólidos (kg residuos sólidos)	No aplica	0,0581	No aplica

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

Los potenciales de calentamiento global utilizados se muestran en el Cuadro 4.2, los cuales corresponden a los reportados por el GHG Protocol en el segundo informe de evaluación publicado en 1995 (Sabine, 2014), esto debido a que actualmente el PPCN solicita el uso de este segundo informe para la construcción del inventario de emisiones; sin embargo, los

valores más actualizados corresponden a los publicados en el 2014 por el GHG Protocol, en el quinto informe de evaluación.

Cuadro 4.2. Potenciales de calentamiento global.

Gas	Potencial de calentamiento
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
R410	1725
R507	3300
R22	1760

Fuente: (Instituto Meteorológico Nacional, 2020)

4.4.4 Cálculo de emisiones de GEI

A partir de los datos por actividad recopilados de cada fuente de GEI, los factores de emisión y los potenciales de calentamiento global, se realizó el cálculo de las toneladas de CO₂ e del año 2020, mediante la Ecuación 3:

$$Emisión = \sum(CG) * FE * PCG \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

CG = Consumo o generación mensual de la fuente de emisión

FE = Factor de emisión

PCG = Potencial de calentamiento global

En el caso de las fuentes de emisión consumo de agroquímicos y generación de agua residual tratada en las plantas de tratamiento (PTAR) de la institución, el cálculo de las toneladas de CO₂ e se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

4.4.4.1 Agroquímicos

La aplicación de agroquímicos genera emisiones directas e indirectas, estas últimas se deben a la volatilización y lixiviación. La estimación de dichas emisiones se realiza mediante las Ecuaciones 4, 5 y 6.

Emisiones Directas

$$N_2O_{aportes} = N * FE * \frac{44}{28} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

N = Cantidad de N aplicado $\left(\frac{\text{kg N}}{\text{año}}\right)$

FE = Factor de emisión de N_2O de aportes de N $\left(\frac{\text{kg } N_2O-N}{\text{kg N}}\right)$

$N_2O_{aportes}$ = Emisiones de N_2O producido por aportes de N (kg N_2O)

$\frac{44}{28}$ = *factor de conversión de N a N_2O*

Emisiones Indirectas

$$Emisiones\ Indirectas = N_2O_{volat} + N_2O_{lixiv} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$N_2O_{volat} = N * Fr_{volat} * FV_{emisión} * \frac{44}{28}$$

$$N_2O_{lixiv} = N * Fr_{lixiv} * FL_{emisión} * \frac{44}{28}$$

Donde:

N = Cantidad de N aplicado $\left(\frac{\text{kg N}}{\text{año}}\right)$

N_2O_{volat} = Emisiones de N_2O por volatilización (kg N_2O)

Fr_{volat} = Fracción de N volatilizado $\left(\frac{\text{kg N volatilizado}}{\text{kg N}}\right)$

$FV_{emisión}$ = Factor de emisión de N_2O de volatilización $\left(\frac{\text{kg } N_2O-N}{\text{kg N volatilizado}}\right)$

N_2O_{lixiv} = Emisiones de N_2O por *lixiv* (kg N_2O)

Fr_{lixiv} = Fracción de N lixiviado $\left(\frac{\text{kg N lixiviado}}{\text{kg N}}\right)$

$FL_{emisión}$ = Factor de emisión de N_2O de lixiviación $\left(\frac{\text{kg } N_2O-N}{\text{kg N lixiviado}}\right)$

$\frac{44}{28}$ = *factor de conversión de N a N_2O*

Dióxido de carbono equivalente

$$CO_2e = (N_2O_{aportes} + N_2O_{volat} + N_2O_{lixiv}) * PCG_{N_2O} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

CO_2e = Dióxido de carbono equivalente $\left(\frac{\text{t}}{\text{año}}\right)$

PCG_{N_2O} = Potencial de calentamiento global del N_2O

4.4.4.2 Agua residual

Las emisiones que se contabilizan debido al agua residual que ingresa a la PTAR, incluye a las generadas al momento del tratamiento y aquellas que se emiten producto de la descarga del efluente a un cuerpo de agua. La estimación de ambos aportes de GEI se obtienen al emplear las Ecuaciones 7, 8 y 9.

Tratamiento del agua residual

$$\text{CO}_2 e_{\text{trat}} = \text{FE}_{\text{CH}_4} * \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{entrada}}}{\text{L}} - \frac{\text{kg DQO}_{\text{salida}}}{\text{L}} \right) * \text{Q} * 365 * \text{PCG}_{\text{CH}_4} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$$\text{CO}_2 e_{\text{trat}} = \text{CO}_2 \text{ equivalente debido al tratamiento } \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

FE_{CH_4} = Factor de emisión de CH_4 de generación de agua residual

$\frac{\text{kg DQO}_{\text{entrada}}}{\text{L}}$ = Demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada de la PTAR

$\frac{\text{kg DQO}_{\text{salida}}}{\text{L}}$ = DQO a la salida de la PTAR

Q = Caudal promedio por día $\left(\frac{\text{L}}{\text{día}} \right)$

PCG_{CH_4} = Potencial de calentamiento global del CH_4

Descarga a río del agua residual tratada

$$\text{CO}_2 e_{\text{descarga}} = \text{FE}_{\text{CH}_4} * \left(\frac{\text{kg DQO}_{\text{salida}}}{\text{L}} \right) * \text{Q} * 365 * \text{PCG}_{\text{CH}_4} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$$\text{CO}_2 e_{\text{descarga}} = \text{CO}_2 \text{ equivalente debido a la descarga al río } \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

FE_{CH_4} = Factor de emisión de CH_4 por descarga a ríos

$\frac{\text{kg DQO}_{\text{salida}}}{\text{L}}$ = DQO a la salida de la PTAR

Q = Caudal promedio por día $\left(\frac{\text{L}}{\text{día}} \right)$

PCG_{CH_4} = Potencial de calentamiento global del CH_4

Dióxido de carbono equivalente

$$\text{CO}_2 e = \text{CO}_2 e_{\text{trat}} + \text{CO}_2 e_{\text{descarga}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$$\text{CO}_2 e = \text{Dióxido de carbono equivalente} \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

$$\text{CO}_2 e_{\text{tratamiento}} = \text{CO}_2 \text{ equivalente debido al tratamiento} \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

$$\text{CO}_2 e_{\text{descarga}} = \text{CO}_2 \text{ equivalente debido a la descarga al río} \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

Para el caso de las emisiones debidas al tratamiento, se consideró el dato de mayor diferencia entre la demanda química de oxígeno (DQO) a la entrada y la salida de la planta de tratamiento. Mientras que, para las emisiones debidas a la descarga al río, se consideró el valor más alto de DQO vertido al río para cada PTAR

4.4.5 Cálculo de la incertidumbre

Las incertidumbres debido a los factores de emisión, se tomaron del documento publicado por el IMN en el 2020, mientras que en el caso de la incertidumbre de los datos de actividad se consultó a los proveedores, se investigó en literatura y se revisaron los equipos de medición utilizados. En el caso del dato de DQO de las aguas residuales debido a plantas de tratamiento, se obtuvo mediante la incertidumbre del dato reportado en los análisis químicos realizados por el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC).

Respecto al combustible (flotilla vehicular y maquinaria), la incertidumbre asociada con la cantidad de combustible consumido se estimó a partir de la tolerancia establecida en el Reglamento para Surtidores de Combustibles Líquidos (Gasolina, Diesel, Kerosene, etc.) N° 26425-MEIC, el cual establece un error máximo permitido de $\pm 0,5 \%$ en los equipos dispensadores.

Los residuos sólidos son medidos mediante una balanza cuya mínima medición es de 250 g, por lo que con el dato anterior se estimó la incertidumbre debido a esta actividad. De acuerdo al GLP, la compra se realiza a granel, es decir, la institución cuenta con tanques que son recargados por la empresa proveedora, por lo que se considera la incertidumbre del equipo dispensador del gas.

En el caso de las demás fuentes de emisión no mencionadas, no fue posible obtener la incertidumbre asociada a los datos de la actividad. La incertidumbre debido al cálculo del inventario de emisiones de GEI se elaboró mediante el programa Microsoft Excel, haciendo uso del método descrito por el IPCC 2006 en el volumen I, específicamente en el Capítulo 3, el cual utiliza las Ecuaciones 10 y 11:

$$U_i = \sqrt{EFu^2 + ADu^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

U_i : Incertidumbre asociada a la fuente de emisión o remoción.

EFu: Incertidumbre del factor de emisión o remoción.

ADu: Incertidumbre de los datos de la actividad.

$$U_{combinada} = \frac{\sqrt{(U_1 * x_1)^2 + (U_2 * x_2)^2 + \dots + (U_i * x_i)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_3|} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$U_{combinada}$: Porcentaje de incertidumbre de la suma de las cantidades. Basado en el intervalo de confianza del 95%.

U_i : Incertidumbre asociada a la fuente de emisión o remoción.

X_i : valor de dióxido de carbono equivalente asociado a la fuente de emisión o remoción.

4.4.6 Construcción del inventario de emisiones

El inventario de emisiones se realizó en la herramienta de Microsoft Excel, en donde se designó una hoja de cálculo para la cuantificación de las emisiones de GEI para cada fuente de emisión según el alcance. Además, se incluyeron los datos por actividad recopilados en los registros, los factores de emisión seleccionados y los potenciales de calentamiento global. De esta manera, mediante la sumatoria de cada una de las actividades, se obtuvo el total de toneladas de CO₂ e generadas en el 2020.

4.5 DESARROLLO DEL PLAN DE REDUCCIONES

Inicialmente, se identificaron las fuentes que generan más emisiones de GEI y se realizó una reunión con los actores claves relacionados con dichas fuentes, con el fin de generar propuestas de proyectos de reducción de emisiones. Una vez que se recolectaron todas las sugerencias, se realizó una reunión con la Dirección del CTLSC para contar con el visto bueno y proceder a elaborar el plan de reducción.

Este plan consistió en una matriz elaborada en la herramienta Microsoft Excel, que incluye el objetivo, la meta y las medidas de reducción a tomar para las fuentes de generación de emisiones elegidas. Además, para cada medida se detallaron las actividades a llevar a cabo, los responsables, la metodología de cuantificación de las reducciones, el indicador de seguimiento y el plazo proyectado para cumplir con los proyectos.

4.5.1 Documentación y cuantificación de las reducciones

La documentación y cuantificación de las reducciones se realizó en el documento del “Plan de gestión de las reducciones”, en donde para cada propuesta de proyecto se destinó una hoja de cálculo y se realizaron las estimaciones necesarias para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ e a reducir. Lo anterior, considerando metodología de cuantificación, medios reales para lograr las reducciones, justificación de la selección de la metodología, supuestos y periodo de medición.

La cuantificación de las reducciones se realizó a partir de los requerimientos descritos en la Norma INTE B5:2016 “Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad”. Además, en cuanto a la evidencia de dichas reducciones, se archivaron en la carpeta de evidencias del SGCN. En las siguientes secciones, se presenta el procedimiento utilizado para el cálculo de las reducciones alcanzadas debido a los proyectos propuestos para el año 2020.

4.5.2 Cambio de luminarias

Durante el año 2020 se realizó la remodelación de tres edificios del CTLSC, para los cuales se planteó instalar iluminación de tecnología LED. El cálculo del consumo eléctrico para ambas tecnologías, se obtuvo al conocer el tiempo promedio de uso de la iluminación en cada edificio durante el 2020 y, las potencias en Watts de los fluorescentes y las nuevas luminarias LED, mediante la Ecuación 12:

$$\frac{kWh_{fluorescentes}}{\text{año}} = Cantidad * Potencia * \frac{\text{horas de uso}}{\text{día}} * \frac{\text{días}}{\text{semana}} * \frac{\text{semanas}}{\text{año}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$$\frac{kWh_{fluorescentes}}{\text{año}} = Consumo \text{ eléctrico para cada tecnología } \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right)$$

Cantidad = Número de fluorescentes o luminarias LED

Potencia = Potencia de los fluorescentes o luminarias LED (W)

De esta forma, considerando el período del 2020 en que funcionaron las nuevas luminarias tipo LED, se calcularon las emisiones evitadas, mediante la diferencia en el consumo eléctrico, como se muestra en la Ecuación 13:

$$CO_2e_{evitado} = \left(\frac{kWh_{fluorescentes}}{\text{año}} - \frac{kWh_{LED}}{\text{año}} \right) * FE_{CO_2} * PC_{CO_2} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$$CO_2e_{evitado} = \text{dióxido de carbono reducido } \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

$$\frac{kWh_{fluorescentes}}{\text{año}} = \text{consumo eléctrico de los fluorescentes sustituidos } \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right)$$

$$\frac{kWh_{LED}}{\text{año}} = \text{consumo eléctrico de las nuevas luminarias LED } \left(\frac{kWh}{\text{año}} \right)$$

$$FE_{CO_2} = \text{factor de emisión debido al consumo de electricidad } \left(\frac{kg \text{ CO}_2}{kWh} \right)$$

PC_{CO_2} = potencial de calentamiento global

4.5.3 Instalación de calentador solar

El comedor institucional hace uso de agua caliente, la cual se calentaba con un equipo que consumía GLP. Con el fin de evitar estas emisiones, se propuso realizar la sustitución de este equipo por un calentador solar. El cálculo del volumen del GLP utilizado se realizó mediante las especificaciones técnicas del equipo, horas de uso y considerando que, a partir de la instalación del calentador solar no se emitieron GEI. Las emisiones evitadas se obtuvieron al aplicar las Ecuaciones 14, 15, 16 y 17:

Dióxido de carbono

$$CO_2e\ 1 = L\ GLP * FE_{CO_2} * PC_{CO_2} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$CO_2e\ 1$ = dióxido de carbono equivalente correspondiente al CO_2 $\left(\frac{t}{año}\right)$

$L\ GLP$ = consumo de GLP (L)

FE_{CO_2} = Factor de emisión debido al consumo de GLP $\left(\frac{kg\ CO_2}{kWh}\right)$

PC_{CO_2} = Potencial de calentamiento global

Metano

$$CO_2e\ 2 = L\ GLP * FE_{CH_4} * PC_{CH_4} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$CO_2e\ 1$ = dióxido de carbono equivalente correspondiente al CH_4 $\left(\frac{t}{año}\right)$

$L\ GLP$ = consumo de GLP (L)

FE_{CH_4} = Factor de emisión debido al consumo de GLP $\left(\frac{kg\ CH_4}{kWh}\right)$

PC_{CH_4} = Potencial de calentamiento global

Óxido nitroso

$$CO_2e\ 3 = L\ GLP * FE_{N_2O} * PC_{N_2O} * \frac{1}{1000} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$CO_2e\ 1$ = dióxido de carbono equivalente correspondiente al N_2O $\left(\frac{t}{año}\right)$

$L\ GLP$ = consumo de GLP antes (L)

FE_{N_2O} = Factor de emisión debido al consumo de electricidad $\left(\frac{kg\ N_2O}{kWh}\right)$

PC_{N_2O} = Potencial de calentamiento global

Total

$$CO_2\ e_{evitado} = CO_2e\ 1 + CO_2e\ 2 + CO_2e\ 3 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$$CO_2e_{evitado} = \text{Dióxido de carbono evitado} \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

4.5.4 Coordinación de viajes compartidos

Con el propósito de reducir las emisiones debido al uso de combustibles, se propuso la ejecución de viajes compartidos cuando las rutas y requerimientos de los viajes lo permitían. De esta manera, mediante el registro de viajes de la Unidad de Transportes (UT), se obtuvieron los kilómetros totales compartidos por viaje realizado. Además, se calcularon las emisiones de CO₂ e por kilómetro recorrido de cada vehículo, al conocer el total de combustible consumido durante el 2020 y el kilometraje marcado al iniciar y finalizar el año; es decir, a partir del rendimiento en litros por kilómetro estimado, se calcularon las emisiones asociadas a cada kilómetro para cada vehículo en particular. De esta forma, la reducción de emisiones se calculó mediante la Ecuación 18:

$$CO_2e_{evitado} = km \text{ compartidos} * \frac{kg \text{ CO}_2 e}{km \text{ recorrido}} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$$CO_2e_{evitado} = \text{Dióxido de carbono evitado} \left(\frac{t}{\text{año}} \right)$$

km compartidos = kilómetros compartidos por viaje (km)

$$\frac{kg \text{ CO}_2 e}{km \text{ recorrido}} = \text{Emisiones de CO}_2 e \text{ por kilómetro recorrido para cada vehículo}$$

4.6 DETERMINACIÓN DE LA COMPENSACIÓN

La compensación de las emisiones se calculó al conocer el total de toneladas de CO₂ e cuantificadas en el 2020. Este dato se multiplicó por el costo de una tonelada de CO₂ e según FONAFIFO y se obtuvo el monto total a invertir en la compensación de las emisiones generadas.

4.7 ELABORACIÓN DEL MANUAL PARA CUANTIFICAR LAS EMISIONES DE LAS ACTIVIDADES PECUARIAS DEL CTLSC

La elaboración del manual para cuantificar las emisiones generadas debido a las actividades pecuarias del CTLSC, involucró una revisión detallada de la literatura sobre las emisiones resultantes de la gestión del ganado y su estiércol. A partir de esto, se identificaron los pasos aplicables a las especies que generan la mayor cantidad de emisiones, las cuales son ganado de tipo vacuno y los búfalos. Se adaptó esta metodología de acuerdo con las características propias de las fincas La Vega, La Balsa y La Esmeralda, considerando una explicación detallada en un lenguaje sencillo, con el propósito de que pueda ser utilizado por demás fincas ganaderas del país.

Con el fin de aplicar esta herramienta, se calcularon los factores de emisión para obtener las emisiones de CH₄ debido a fermentación entérica y, CH₄ y N₂O debido a la gestión del estiércol del ganado de carne. Cabe destacar que la población de ganado de estudio permanece en las pasturas de las fincas La Vega y La Balsa, por lo que se consideró que la gestión del estiércol se da mediante su depósito en las mismas. Esto significó, utilizar la metodología propuesta por el IPCC en el Capítulo 11, denominado “Emisiones de N₂O de los suelos gestionados”, la cual se describió en el manual confeccionado.

Para la estimación de los factores de emisión se dividió el ganado de carne en 5 categorías (según las empleadas por el IMN para ganado vacuno) y se calculó un factor de emisión mensual para cada una, considerando el inventario de animales de cada mes del periodo de agosto a diciembre del 2020. De esta manera, al promediar los valores calculados, se obtuvo un factor de emisión anual para cada categoría de ganado de carne y se calcularon las emisiones de CO₂ e. Así, el resultado conseguido se comparó con el dato de emisiones generadas a partir de la aplicación de los factores de emisión del IMN.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta el marco documental elaborado para implementar y mantener el SGCN, los principales resultados del inventario de emisiones, el plan de gestión de las reducciones y la compensación de las emisiones. Por último, se muestran los resultados obtenidos al aplicar los factores de emisión calculados mediante el manual para cuantificar emisiones de GEI debido a la actividad pecuaria del CTLSC.

5.1 GESTIÓN DE LA CARBONO NEUTRALIDAD

5.1.1 Fuentes de emisión

El primer paso para diseñar la gestión de la carbono neutralidad fue identificar cuáles aspectos ambientales del CTLSC generan emisiones de GEI. En el Cuadro 5.1 se muestran las fuentes de emisión clasificadas por alcance.

Cuadro 5.1. Fuentes de emisión de GEI identificadas por alcance.

Alcance	Fuente
1	Combustibles
	Lubricantes
	Aguas Residuales
	Refrigerantes
	Extintores
	Agroquímicos
	Animales
	Compostaje
2	Electricidad
3	Residuos sólidos no valorizables
	Viajes aéreos

5.1.2 Componentes del Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad

De acuerdo con las fuentes de emisión de GEI identificadas, se diseñó el SGCN, el cual incluye los componentes que se muestran en la Figura 5.1. Estos componentes aseguran que las metas y objetivos ambientales de la organización se estén cumpliendo de manera efectiva,

ya que, vincula auditorías, revisiones y otros procesos importantes de gestión ambiental a través de una red de acciones, procedimientos, documentación y registros de gestión, además, está diseñado con el propósito de promover la mejora ambiental continua (Hilson & Nayee, 2002).

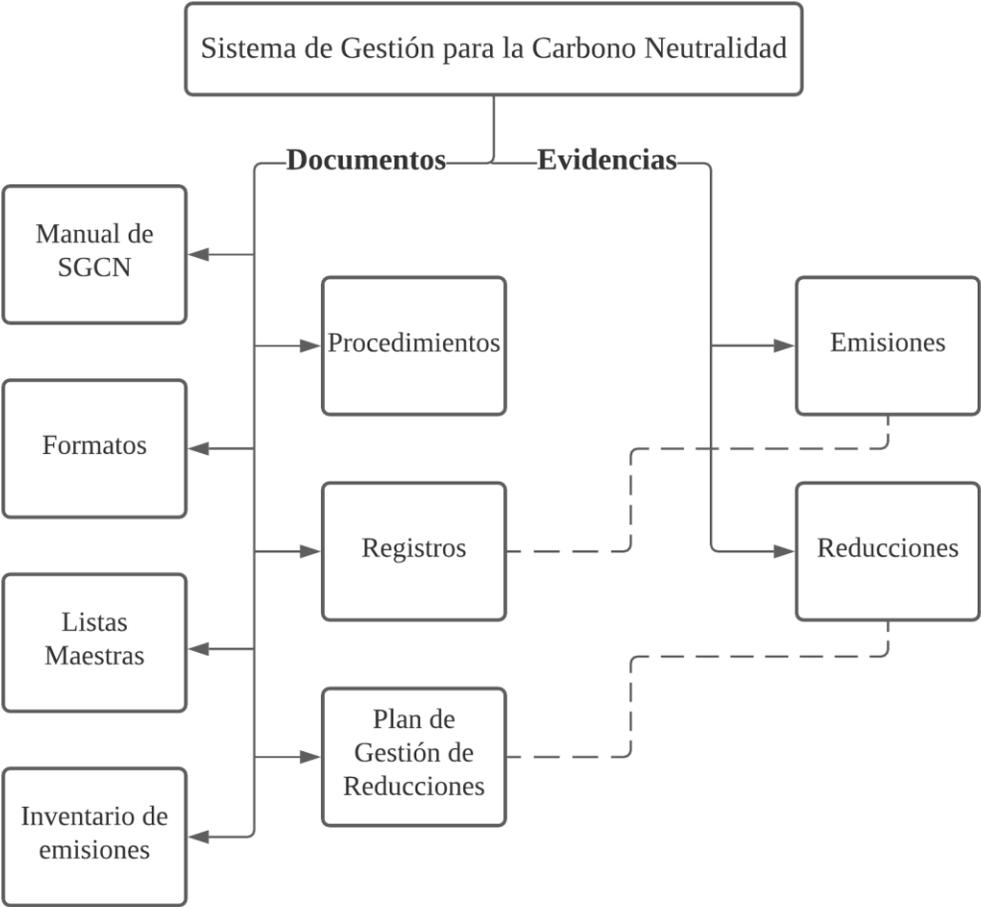


Figura 5.1. Diagrama de los componentes del Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad.

Los procedimientos y formatos de registros del SGCN se sintetizan en la lista maestra que se muestran en el Cuadro 5.2. Esta lista representa los documentos elaborados para la implementación y seguimiento del sistema. En total se elaboró un procedimiento y uno o más formatos de registro, según los datos requeridos por fuente de emisión, cada documento con su respectiva nomenclatura. Asimismo, cabe destacar que los formatos de registro se alimentan año con año, es decir, para el año 2020 se tomó cada formato y se completó con los datos de ese mismo año. Adicionalmente, se cuenta con un manual que muestra la

metodología a seguir para calcular factores de emisión propios de la institución, para obtener las emisiones resultado de las actividades pecuarias.

Cuadro 5.2. Lista maestra de los procedimientos y formatos de registros del marco documental.

Código	Nombre
Procedimientos	
P-01-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al consumo electricidad
P-02-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a viajes aéreos
P-03-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al uso de combustible
P-04-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a la generación de residuos sólidos ordinarios no valorizables
P-05-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a la generación de aguas residuales
P-06-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al uso de refrigerantes
P-07-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a la descarga de extintores
P-08-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a la aplicación de agroquímicos
P-09-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al uso de lubricantes
P-10-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a animales
P-11-SCN-CTLSC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al compostaje
P-12-SCN-CTLSC	Procedimiento para el desarrollo de auditorías internas y el tratamiento de no conformidades, acciones correctivas y preventivas
Formatos	
F-01-SCN-CTLSC	Registro de consumo de electricidad
F-02-SCN-CTLSC	Registro de emisiones de viajes aéreos
F-03-SCN-CTLSC	Registro de consumo de combustible flotilla vehicular
F-04-SCN-CTLSC	Registro de consumo de combustible para generadores y maquinaria
F-05-SCN-CTLSC	Registro de consumo de GLP
F-06-SCN-CTLSC	Registro de consumo de acetileno y dióxido de carbono
F-07-SCN-CTLSC	Registro de cantidad de residuos sólidos no valorizables
F-08-SCN-CTLSC	Registro de generación de aguas residuales
F-09-SCN-CTLSC	Registro de recargas de refrigerantes
F-10-SCN-CTLSC	Registro de descargas de extintores
F-11-SCN-CTLSC	Registro de aplicación de agroquímicos
F-12-SCN-CTLSC	Registro de aplicación de agroquímicos. Agronomía
F-13-SCN-CTLSC	Registro de uso de lubricantes
F-14-SCN-CTLSC	Registro de uso de lubricantes, Maquinaria de 2 tiempos
F-15-SCN-CTLSC	Registro de ganado de leche
F-16-SCN-CTLSC	Registro de ganado de carne
F-18-SCN-CTLSC	Registro de ganado porcino

Código	Nombre
F-19-SCN-CTLSC	Registro de ganado de otros animales
F-20-SCN-CTLSC	Registro de compostaje en lechería
F-21-SCN-CTLSC	Registro de compostaje en matadero
F-22-SCN-CTLSC	Formato de protocolo de auditorías internas
F-23-SCN-CTLSC	Formato de informe de auditoría interna
F-24-SCN-CTLSC	Formato reporte de no conformidades, acciones correctivas y/o preventivas

5.1.3 Fuentes de los datos a recopilar

Los formatos de registro mostrados, son alimentados mediante la articulación de distintas dependencias de la institución, en donde se cuenta con un puesto responsable de suministrar la información requerida. En el Cuadro 5.3 se muestra la identificación de los departamentos relacionados con el SGCN y su respectivo puesto encargado de proveer los datos.

Cuadro 5.3. Departamentos y estancias responsables de la información por fuente de emisión.

Fuente	Departamento/Estancia	Puesto responsable
Combustible flotilla vehicular	Unidad de transportes	Encargada de Transportes
	Programa de Producción Agropecuario (PPA)	Asistente
	CIDASTH	Secretaria
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	Encargado de parcelas agrícolas
Combustible maquinaria	PPA	Asistente
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	Encargado de parcelas agrícolas
	Servicios Generales	Coordinador
GLP	Empresa	Empresa contratada para recarga de los tanques de GLP
Acetileno	Servicios Generales	Coordinador
Lubricantes	Unidad de transportes	Encargada de Transportes
	PPA	Asistente
	CIDASTH	Secretaria
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	Encargado de taller de maquinaria agrícola
	Servicios Generales	Coordinador
Aguas residuales (PTAR)	Empresa	Empresa contratada para operación y mantenimiento de PTAR

Fuente	Departamento/Estancia	Puesto responsable
Aguas residuales (Tanques sépticos)	Servicios Generales	Coordinador
Refrigerantes	Servicios Generales	Coordinador
	PPA	Asistente
	CIDASTH	Secretaria
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	Encargado de parcelas agrícolas
Extintores	Servicios Generales	Coordinador
Agroquímicos	PPA (Unidad de Cultivos)	Coordinador
	PPA (Unidad de Producción Animal)	Coordinador
	PPA (Unidad de Ganado de Carne)	Coordinador
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	Profesores
Animales	PPA (Unidad de Producción Animal)	Coordinador
	PPA (Unidad de Ganado de Carne)	Coordinador
	PPA (Unidad Planta de Matanza)	Coordinador
Compostaje	PPA (Unidad de Producción Animal)	Coordinador
	PPA (Unidad Planta de Matanza)	Coordinador
Electricidad	Financiero contable	Administrativo
Residuos sólidos no valorizables	Empresa	Funcionarios de empresa contratada para brindar servicio de limpieza
	GASEL	Regente ambiental
Viajes aéreos	Aprovisionamiento y Financiero contable	Encargado de compras y pagos

5.2 INVENTARIO DE EMISIONES

5.2.1 Recopilación de datos de las fuentes de emisión

A continuación, se detalla la metodología empleada para la recolección y procesamiento de datos de cada fuente de emisión.

5.2.1.1 Datos de consumo de combustibles fósiles

Los combustibles fósiles utilizados en la institución son: diésel, gasolina, gas licuado de petróleo, acetileno y dióxido de carbono. El uso de estos combustibles varía entre dependencias, y de acuerdo a esto, el método para recopilar los datos de consumo cambia.

En el Cuadro 5.4 se pueden observar las estancias del CTLSC que hacen uso de combustibles fósiles y la metodología de recopilación de los consumos; de esta manera, fue posible recolectar la información que se muestra en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.4. Método de recopilación de datos para el consumo de combustibles fósiles.

Actividad	Estancia / Departamento	Método de recopilación de datos
Flotilla institucional	Unidad de Transportes	Facturas de combustibles incluidas en software institucional de registro de combustible
	PPA	
	CIDASTH	
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	
Planta generadora de electricidad	Servicios Generales	Factura de compra
Maquinaria y equipo especial	Servicios Generales	Factura de compra
	PPA	
	Escuela de Ingeniería en Agronomía	
Gas Licuado de Petróleo	Comedor Institucional	Solicitud de registro a empresa proveedora y facturas de compra
	Lavandería Residencias	
	PPA (Unidad de matanza)	
	Laboratorios de química	Servicios generales proporciona la factura de compra
Acetileno	Servicios Generales	Factura de compra
Dióxido de carbono		

Cuadro 5.5. Consumo mensual de combustibles fósiles por actividad.

Actividad	Flotilla Vehicular		Plantas Generadoras	Maquinaria		Gas LP (L)	Acetileno (kg)	Dióxido de Carbono (kg)	
	Tipo de combustible	Diésel (L)	Gasolina (L)	Diésel (L)	Diésel (L)				Gasolina (L)
Mes	Enero	765,29	314,30	0,00	0,00	0,00	4276,58	0,00	0,00
	Febrero	1607,90	343,15	229,95	312,74	96,31	1948,95	0,00	0,00
	Marzo	1015,63	94,89	0,00	505,89	0,00	4774,20	0,00	0,00
	Abril	559,05	46,45	0,00	56,42	64,52	1200,30	0,00	0,00
	Mayo	954,75	147,49	0,00	306,81	143,28	1952,50	1,00	0,00
	Junio	748,43	124,88	0,00	685,80	43,10	3419,50	0,00	0,00
	Julio	797,44	100,88	0,00	290,59	206,14	759,80	0,00	0,00
	Agosto	1500,79	196,61	0,00	883,97	241,42	2728,51	0,00	0,00
	Septiembre	774,19	116,33	132,59	307,07	120,31	4754,80	0,00	0,00
	Octubre	1222,99	90,31	0,00	168,85	112,33	1558,85	6,00	0,00
	Noviembre	1110,03	75,58	63,87	781,11	149,06	2167,10	0,00	0,00
	Diciembre	1013,88	196,09	602,23	8405,42	996,99	3703,20	0,00	0,00
Total	12070,36	1846,96	1028,64	12704,66	2173,46	33244,29	7,00	0,00	

Plantas generadoras

El CTLSC cuenta con plantas generadoras de electricidad que utilizan diésel para operar. Estas plantas reciben mantenimiento por parte de Servicios Generales, quién cada vez que realiza la recarga de los tanques de almacenamiento de combustible de las plantas generadoras, proporciona la factura que se utiliza para alimentar el registro respectivo. En el Cuadro 5.5 se muestra que durante el 2020 la adquisición de combustible para este uso no fue constante, esto ya que las interrupciones del fluido eléctrico son ocasionales y parte de este uso es debido a arranques periódicos para el mantenimiento preventivo de los generadores.

Flotilla vehicular

La flotilla vehicular institucional se encuentra a cargo de distintas dependencias y departamentos, de los cuales la Unidad de Transporte es la encargada de la mayoría de los vehículos. En total se dispone de 37 de estos, el inventario de los mismos se muestran Apéndice 1.

La recolección de los datos de consumo de combustible se realiza de manera mensual, al solicitar a las dependencias, las facturas escaneadas por la compra de combustible. Cada una de estas facturas se ingresa al Software Institucional de Registro de Combustible, considerando el número de factura, la fecha de la compra, el monto, el tipo de combustible, la placa del vehículo y el kilometraje. De esta forma, el sistema permite realizar reportes por año, placa o usuario que ingresa la información, para así alimentar el registro de consumo de diésel y gasolina de la flotilla vehicular de la institución y conocer el consumo mensual.

En el Cuadro 5.5 se aprecia el comportamiento del consumo del diésel y gasolina del 2020, en donde durante los meses de marzo, abril y mayo se presenta una disminución en el uso del combustible, debido al inicio de la pandemia provocada por el virus SARS-COV-2 y la paralización de las actividades académicas y administrativas ocurridas a partir de este evento.

Maquinaria

El consumo mensual de diésel y gasolina para el uso de maquinaria y equipo especial se muestra en el Cuadro 5.5. Esta maquinaria está compuesta principalmente por motoguadañas, hidrolavadoras, sopladoras, bombas, tractores y similares. Las dependencias que hacen uso

de este equipo son Servicios Generales, Programa de Producción Agropecuario (PPA) y la Escuela de Ingeniería en Agronomía, las cuales realizan la compra del combustible y proporcionan mensualmente las facturas escaneadas para alimentar el registro y documentar la evidencia. Esta información es comparada con los reportes de facturación emitidos por el proveedor, ya que, estas dependencias únicamente pueden hacer la adquisición de combustible en una única empresa asignada por medio de una orden de compra institucional.

Gas licuado de petróleo

En el caso del gas licuado de petróleo (GLP), este se emplea en la planta de matanza, el comedor institucional y la lavandería. Los datos de consumo mensual de GLP se solicita directamente al proveedor, el cual proporciona un reporte de las ventas realizadas a la institución, en donde se detalla el número de factura, la fecha del servicio, los litros de GLP abastecidos y el código del tanque recargado. En el caso del laboratorio de Ciencias Exactas y Naturales, se cuenta con dos cilindros que son recargados por un proveedor distinto, las facturas son facilitadas por el Departamento de Servicios Generales.

En el Cuadro 5.5 se puede apreciar la cantidad de litros mensual que se consumen de GLP, los cuales corresponden en su mayoría a uso de la planta de matanza institucional. Dicha planta emplea este combustible como parte de su proceso productivo, por este motivo el consumo es tan elevado.

Acetileno y dióxido de carbono

En el CTLSC se utiliza acetileno y dióxido de carbono para soldar. La estancia responsable del uso de este combustible es Servicios Generales, quien proporciona las facturas como evidencia. En el Cuadro 5.5 se puede observar que durante el 2020 no hubo consumo de dióxido de carbono y el uso del acetileno fue mínimo, por lo que la generación de emisiones de GEI de esta fuente no es significativa. Además, se asume que el acetileno adquirido en el 2020 es totalmente consumido en el año de reporte.

5.2.1.2 Datos de las recargas de extintores

La recarga de los extintores de CO₂ de la institución se realiza de manera anual, por lo que para el 2020 esta labor se llevó a cabo únicamente en diciembre. En total se realizó la recarga de 190 extintores de los cuales 76 corresponden a extintores de CO₂, para un total de 795 libras de este gas recargado; dato que se obtuvo mediante la factura electrónica de la adquisición del servicio, la cual se documentó como evidencia

5.2.1.3 Datos de recargas de refrigerantes

El uso de refrigerantes del CTLSC se da por los aires acondicionados de aulas, laboratorios, auditorios, oficinas y vehículos de la flotilla institucional. Durante el 2020 se realizó una única recarga de refrigerante a un vehículo de la flotilla institucional, por lo que la mayoría de las recargas que se muestran en el Cuadro 5.6 corresponden a los aires acondicionados de edificios. Las recargas de estos las realiza una empresa que subcontrata el Campus para brindar el servicio de mantenimiento de las instalaciones en general. Los refrigerantes necesarios para las recargas son comprados por el CTLSC y manejados por este proveedor para el uso exclusivo de la institución.

Es importante mencionar que, debido a las condiciones climáticas de la zona, el uso de aire acondicionado es indispensable para el mantenimiento de los equipos de cómputo y el bienestar de estudiantes y funcionarios. Por este motivo, se cuenta con 305 aires acondicionados; sin embargo, el uso de estos disminuyó durante el 2020 debido a la implementación de clases virtuales por la situación enfrentada.

Cuadro 5.6. Información de recargas de refrigerantes.

Fecha de reporte	Tipo de refrigerante	Cantidad de refrigerante recargado (lb)
30/07/20	R134a	1,50
28/08/20	R410a	25,00
29/08/20	R22	27,30
01/12/20	R410a	75,00

5.2.1.4 Datos de lubricantes

En el CTLSC el uso de aceites y grasas cumple dos funciones: lubricar o mezclarse junto con combustible para ser utilizado en maquinaria con motores de dos tiempos. En el Cuadro 5.7 se observa el consumo de lubricantes para ambos fines. Las dependencias encargadas de proporcionar los datos de consumo de lubricante son las mismas que proporcionan la información de consumo de combustibles. El suministro de información de cambios de aceite en los vehículos, se hace mediante facturas del proveedor externo (a excepción de los vehículos de PPA cuyo cambio se hace por funcionarios de la Unidad de Cultivo), mientras que el consumo de maquinaria de motores de 2 tiempos se logra por medio de las facturas de compra. Es importante mencionar que se asume que todo el lubricante adquirido en el año de reporte es consumido totalmente en ese mismo año.

Cuadro 5.7. Consumo mensual de lubricantes.

Mes	Tipo de lubricante	
	Aceite para lubricar (L)	Motores de 2 tiempos (L)
Enero	0,00	3,78
Febrero	6,63	0,00
Marzo	20,70	0,00
Abril	7,85	0,00
Mayo	3,27	0,00
Junio	49,00	126,19
Julio	13,80	0,00
Agosto	312,14	0,00
Septiembre	3,00	0,00
Octubre	7,90	0,00
Noviembre	51,59	0,00
Diciembre	0,00	0,00
Total	475,88	129,98

5.2.1.5 Datos de aplicación de agroquímicos

Las dependencias que hacen uso de agroquímicos y fertilizantes son la Escuela de Ingeniería en Agronomía y todas las unidades del PPA, exceptuando a la Unidad de matanza. Estos se

utilizan debido a las actividades académicas y productivas del Campus; sin embargo, durante el 2020 se aplicaron menos agroquímicos, ya que la impartición de lecciones fue en su mayoría de forma virtual y en los cursos no se realizó trabajo de campo.

El contenido de Nitrógeno de cada agroquímico fue determinado mediante la colaboración del regente químico de la institución, quien al ver el inventario de estos químicos que se adquieren, estableció cuáles contenían nitrógeno y su concentración en porcentaje. Al tener esta información, se solicita a los departamentos que hacen uso de estos productos, que registren el nombre del producto utilizado, la fecha de aplicación, el nombre y área del cultivo y la cantidad de agroquímico administrado. Así, mediante el estudio de contenido de Nitrógeno por agroquímico, se determinan las emisiones debido a esta fuente. Durante el 2020 se emplearon las cantidades de agroquímicos que se muestran en el Cuadro 5.8.

Cuadro 5.8. Cantidad de fertilizantes aplicados.

Nombre del producto	Cantidad aplicada	Unidad	Tipo de cultivo
26-0-26	28250,00	kg	Caña de azúcar
Diurón	175,00	kg	
Pendimetalina	120,00	L	
26-0-26	720,00	kg	Yuca
Atrazina	4,00	kg	Sorgo
15-15-15	270,00	kg	
18-46-0	180,00	kg	
Atrazina	1,00	kg	Maíz
18-46-0	135,00	kg	
Pendimetalina	1,00	L	
Úrea 46-0-0	283,54	kg	Plátano
DAP: 18-46-0	108,69	kg	
Mancozeb	4,50	kg	
Oxamyl	1,20	L	
Compost	177730,70	kg	Repastos

En el caso del compost, se asume que el total de los residuos compostados que se muestra en la sección 5.2.1.8; se utilizan como fertilizante de las pasturas de la institución. Para esto, se consideró una pérdida de peso de estos residuos para compostaje de 19,4%, según estudio que calcula la reducción de la masa y el volumen de los residuos durante la generación de compost (Breitenbeck & Schellinger, 2004). De esta forma, de los 220509,55 kg de residuos

para compostar, se obtuvo 177730,70 kg de compostaje que fue aplicado en los suelos de las fincas. Además, se consideró que el compostaje producido contiene un 1,6% de Nitrógeno, debido a que su principal constituyente es el estiércol de ganado, según lo indicado por el Coordinador de PPA y estudios anteriores (Viquez-Rojas, 2006).

5.2.1.6 Datos de la generación de agua residual

La institución da tratamiento a sus aguas residuales mediante 11 tanques sépticos y 3 plantas de tratamiento. En el caso de los tanques sépticos, se solicita el dato de cuantos funcionarios y/o estudiantes en promedio hacen uso de cada tanque séptico y de esta forma, se estiman las emisiones de GEI. Es importante mencionar que se incluyen 2 tanques sépticos de casas ubicadas en las cercanías de La Esmeralda, en la cual viven funcionarios de la institución. Estos se consideran dentro del alcance, ya que el mantenimiento de los tanques le corresponde al CTLSC y, además, son un beneficio que la institución brinda a estos profesores.

Respecto a las plantas de tratamiento, estas reciben las aguas residuales de la planta de matanza, porqueriza y las del sector académico y administrativo. Anualmente, se realiza al menos dos análisis fisicoquímicos al agua residual, a la entrada y salida de la planta, para obtener la DQO. De esta manera, se determina cuánta materia orgánica fue removida y las emisiones generadas debido al tratamiento. Asimismo, mediante la DQO de salida, se calculan las emisiones generadas debido a la descarga al río de la materia orgánica que no fue posible remover mediante el tratamiento.

En el Cuadro 5.9 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual para cada PTAR. Es importante mencionar que, para el cálculo de las emisiones de CO₂ e se consideró el valor de diferencia más elevado entre la DQO de entrada y de salida, además, se tomó el dato más alto de DQO de salida, para cuantificar las emisiones debido al vertido del agua tratada.

Cuadro 5.9. Parámetros de caudal y demanda química de oxígeno para el agua residual generada.

Fecha	Ubicación	Caudal (L/día)	DQO entrada (kg/L)	DQO salida (kg/L)	DQO removido (kg/L)
16/07/2020	TEC	70000	0,000238	0,000108	0,000130

Fecha	Ubicación	Caudal (L/día)	DQO entrada (kg/L)	DQO salida (kg/L)	DQO removido (kg/L)
17/07/2020	Planta de matanza	55000	0,001744	0,000248	0,001496
18/07/2020	Porqueriza	5000	0,001794	0,000155	0,001639
21/12/2020	TEC	60500	0,000914	0,000114	0,000800
21/12/2020	Planta de matanza	26000	0,000831	0,000204	0,000627
21/12/2020	Porqueriza	43200	0,00134	0,000134	0,001206

5.2.1.7 Datos de animales

En las tres fincas que conforman el CTLSC se crían animales para diferentes fines educativos y económicos. En la finca La Esmeralda se crían cerdos y ganado vacuno lechero; en la finca La Vega se desarrollan búfalos, caballos y ganado vacuno para el aprovechamiento de carne; mientras que en el caso de la finca La Balsa se cría ganado de carne y caballos. El inventario del ganado de carne, búfalos y equinos es proporcionado de manera mensual por el PPA, específicamente por la Unidad de Ganado de Carne. Este inventario incluye el número del animal, el sexo, el último peso registrado, la edad en años, la fecha de nacimiento y una clasificación de acuerdo al estado actual del animal.

En el Cuadro 5.10 se muestra esta clasificación y la interpretación acordada para efectos de la escogencia de los factores de emisión proporcionados por el IMN. De acuerdo con esta clasificación se obtuvo el inventario para ganado de carne que se muestra en el Cuadro 5.12, que incluye la cantidad de cabezas de ganado mensual que permaneció en las fincas La Vega y La Balsa.

Cuadro 5.10. Nomenclatura para la clasificación del ganado vacuno de carne.

Símbolo	Significado	Equivalente a:	Categoría según factor de emisión IMN
CH	Cría hembra	Ternereras	Terneros
CM	Cría macho	Terneros	
HL	Hembra levante	Novillas en desarrollo pequeñas	Hembra en desarrollo
NV	Novilla vientre	Novilla de desarrollo	
MC	Macho ceba	Novillos de engorde	Macho en desarrollo
ML	Macho levante	Macho de desarrollo	
VP	Vaca parida	Vacas	Hembra madura
VS	Vaca seca	Vacas	
TR	Toro reproductor	Toros de cría	Macho maduro

En el caso del ganado vacuno de la lechería, esta suministra el inventario de animales de forma mensual, el cual incluye número del animal, número de partos, número del padre y la madre, la raza y el peso. Mediante esta información, se clasifican los animales como se muestran en el Cuadro 5.11, obteniendo así, el inventario de ganado de leche mensual que se muestra en el Cuadro 5.12.

Cuadro 5.11. Nomenclatura para la clasificación del ganado vacuno de leche.

Nomenclatura lechería	Categoría según factor de emisión IMN
Terneros cuna	Terneros
Ternereras levante	Hembra en crecimiento
Novillas desarrollo	
Novillas preñadas	Hembra madura
Vaca seca	
Producción	Macho maduro
Toro	

En el caso de los cerdos, búfalos y caballos, estos no se clasifican debido a que el IMN solo reporta un factor de emisión sin importar el sexo o la edad. Además, cabe destacar que el comportamiento de los datos de cada tipo de animal se mantiene fluctuante debido a nacimientos, ventas o muertes de cabezas de ganado. Por esta razón, los reportes de dichos sucesos se documentan como respaldo de la cantidad de animales que permanecieron dentro

de la institución. Lo anterior se realiza de forma mensual, para que el cálculo de las emisiones sea más preciso, caso contrario si se realizara de forma anual.

Por otro lado, en el Cuadro 5.12 se puede apreciar que el tipo de ganado que predomina es el vacuno para aprovechamiento de carne, ya que las fincas La Vega y La Balsa se dedican principalmente al desarrollo de este tipo de animales como actividad lucrativa. Seguido de estos, se tiene el ganado porcino, en donde la cantidad de cerdos se comporta ascendente hasta el mes de julio, alcanzando 227 cabezas y decae para los meses restantes. En el caso del ganado vacuno lechero, este se mantiene constante durante el año, al igual que las cabezas de búfalos y equinos.

Cuadro 5.12. Cantidad de cabezas de ganado por tipo de animal.

Mes	Ganado de leche				Ganado de carne				Porcinos	Búfalos	Equinos	
	Terneros	Hembras en crecimiento	Hembras maduras	Machos adultos	Terneros	Hembras en crecimiento	Machos en crecimiento	Hembras adultas				Machos adultos
Enero	8	21	49	1	175	86	91	267	19	74	86	16
Febrero	12	18	50	1	216	86	91	267	19	115	86	16
Marzo	8	16	50	1	245	86	81	267	18	137	86	16
Abril	3	17	59	1	274	86	81	267	17	147	86	16
Mayo	7	20	59	1	286	86	75	265	17	199	66	16
Junio	6	15	54	1	292	85	73	265	17	209	68	17
Julio	6	15	54	1	177	136	124	258	17	227	73	17
Agosto	10	15	54	1	140	152	128	250	20	122	73	17
Septiembre	13	13	60	1	89	180	146	241	20	96	87	17
Octubre	8	6	56	1	70	193	455	240	19	33	88	17
Noviembre	14	6	56	1	49	195	159	233	14	30	91	17
Diciembre	5	12	55	1	19	204	174	223	14	24	86	17

La Unidad de Matanza recibe animales diariamente para ser sacrificados, los cuales según el artículo 122 del Decreto N° 29588-MAG-S Reglamento Sanitario y de Inspección Veterinaria de Mataderos, Producción y Procesamiento de Carnes, deben someterse a un período de ayuno y reposo de al menos doce horas antes del sacrificio a fin de que sus condiciones fisiológicas sean óptimas y se asegure que no queden ocultos signos o síntomas de enfermedades (*Sistema Costarricense de Información Jurídica*, n.d.).

Por este motivo, se toma en cuenta la generación de emisiones de estos animales, por el periodo de tiempo que permanecieron en el Campus. En esta sección se consideran las emisiones únicamente por fermentación entérica, ya que las emitidas por el manejo del estiércol, se incluyen en los datos de compostaje de la planta de matanza.

De esta forma, se solicitó el inventario de la cantidad de cabezas de ganado vacuno y porcino que fueron sacrificados mensualmente y se consideró que cada uno permanece en la planta de matanza 12 horas, ya que ingresan en la noche y son sacrificados a partir de la mañana del día siguiente. En el Cuadro 5.13 se muestra la cantidad de cabezas de cada especie.

Cuadro 5.13. Cabezas de ganado vacuno y porcino que ingresaron a la planta de matanza mensualmente.

Mes	Cabezas de ganado vacuno						Cabezas de ganado porcino
	Hembras lecheras	Terneros	Hembras en crecimiento	Machos en crecimiento	Hembras adultas	Machos adultos	
Enero	24	1	75	39	93	269	716
Febrero	28	1	120	13	69	308	843
Marzo	28	1	115	49	95	288	1001
Abril	22	0	65	33	70	221	709
Mayo	12	0	88	28	72	261	668
Junio	4	0	89	24	74	225	733
Julio	7	2	101	29	110	180	682
Agosto	21	3	92	23	90	177	657
Septiembre	2	0	46	11	49	145	401
Octubre	12	0	50	24	110	155	596
Noviembre	7	2	85	21	60	148	664
Diciembre	7	0	78	32	102	186	875

5.2.1.8 Datos de compostaje

La valorización de residuos orgánicos mediante el compostaje se da en la lechería y en la planta de matanza de la finca La Esmeralda. Los datos mensuales que se muestran en el Cuadro 5.14 se obtuvieron mediante dos metodologías distintas. En el caso del compostaje de la lechería, se promedió el peso del recipiente lleno, en donde se depositan los residuos a compostar, y de esta manera, el encargado solo reporta la cantidad de recipientes generados diariamente en la lechería y se proyecta el total de residuos orgánicos que se compostan mensualmente.

Por otro lado, los residuos que se compostan en la planta de matanza corresponden al material rumial de los animales sacrificados. Para determinar la cantidad generada se realizó un estudio para conocer cuántos animales sacrificados alcanzan a completar la capacidad de un estañón y el peso promedio de este. De esta forma, se conoce la cantidad aproximada de material rumial generado por animal para así, estimar la cantidad total de residuos compostados mediante el reporte mensual de la cantidad de animales sacrificados.

Cuadro 5.14. Cantidad de residuos compostados mensualmente.

Mes	Compostaje en lechería (kg)	Compostaje en planta de matanza (kg)
Enero	2575,80	18250,57
Febrero	2575,80	21114,24
Marzo	2575,80	23123,09
Abril	2575,80	16540,91
Mayo	2575,80	19019,91
Junio	2575,80	16412,69
Julio	2575,80	15857,05
Agosto	2575,80	15857,05
Septiembre	2462,40	10129,71
Octubre	2689,20	13207,09
Noviembre	2430,00	12907,09
Diciembre	2721,60	7180,55
Total	30909,60	189599,95

5.2.1.9 Datos de consumo de energía eléctrica

El servicio eléctrico del CTLSC es proporcionado por Coopelesca, quién contabiliza el consumo eléctrico de las tres fincas de la institución mediante 10 medidores de electricidad. Es importante mencionar que se incluyen 2 medidores de casas ubicadas en las cercanías de La Esmeralda, en la cual viven funcionarios de la institución. Se consideran dentro del alcance ya que el pago del consumo lo hace el CTLSC y además son un beneficio que la institución brinda a estos profesores.

El consumo mensual de electricidad se muestra en el Cuadro 5.15, el cual se vio afectado debido a la paralización de las actividades presenciales del Campus, por esta razón, no permanece constante durante los meses lectivos.

Cuadro 5.15. Consumo eléctrico mensual.

Mes	Consumo (kWh)
Enero	131580
Febrero	142852
Marzo	200317
Abril	145980
Mayo	127579
Junio	153468
Julio	153261
Agosto	158295
Septiembre	180456
Octubre	180490
Noviembre	184051
Diciembre	162839
Total	1921166

5.2.1.10 Datos de generación de residuos sólidos

La cantidad de residuos sólidos no valorizables generados en la institución se determina de dos maneras: realizando el pesaje de los residuos o mediante un estudio de generación. El primer caso, se lleva a cabo en coordinación con las personas encargadas de la limpieza, las cuales anotan en un registro proporcionado, el peso de los residuos enviados al relleno

sanitario que se generan en aulas, oficinas administrativas, comedor y residencias (exceptuando las residencias 8, 9 y la de profesores). Esto lo realizan al menos un lunes, un miércoles y un viernes al mes, debido a que son los días en los que se realiza la recolección municipal de residuos; y a partir de esto, se extrapola el resultado para obtener la generación mensual.

Por otra parte, se realizó un estudio de generación de residuos para estimar la cantidad generada en los sitios en los que el personal de limpieza no realiza el pesaje, los cuales son: casas de profesores, taller mecánico, taller de mantenimiento, unidad de transportes, salón Jacaranda y el CTEC. Este estudio consistió en pesar todos los residuos cada lunes, miércoles y viernes, en el periodo que comprende del 28 de octubre al 14 de diciembre del 2020. De esta manera, se obtuvo que en estos sitios se generan diariamente un aproximado de 21,3 kg de residuos; este dato se utilizó en la estimación de generación mensual, al multiplicarlo por la cantidad de días por mes en que se desarrollaron actividades en el Campus.

De esta forma, se obtuvieron los datos que se muestran en el Cuadro 5.16, en donde se puede observar que durante el 2020 se envió al relleno sanitario alrededor de 8286 kg de residuos sólidos no valorizables. Además, en el caso de los resultados obtenidos con la metodología del pesaje de residuos, es posible notar la considerable disminución en la generación de estos durante el periodo de suspensión de actividades presenciales debido a la pandemia.

Cuadro 5.16. Resultados de la generación mensual de residuos sólidos no valorizables para las metodologías empleadas.

Mes	Pesaje de residuos (kg)	Estudio de generación (kg)
Enero	110,29	319,38
Febrero	862,15	425,84
Marzo	862,15	212,92
Abril	205,59	85,17
Mayo	192,21	447,13
Junio	173,29	468,42
Julio	146,85	383,25
Agosto	444,62	447,13
Septiembre	256,28	468,42
Octubre	221,45	468,42
Noviembre	221,88	447,13
Diciembre	118,22	298,09

Mes	Pesaje de residuos (kg)	Estudio de generación (kg)
Total	3814,98	4471,30

5.2.1.11 Datos de viajes aéreos

La pandemia provocada por el virus SARS-COV-2 impidió la realización de viajes aéreos, por lo que se contabiliza un único viaje con destino a España, realizado en marzo del 2020. La información de la ruta seguida se obtiene de la orden de compra facilitada por el Departamento de Aprovisionamiento. Posteriormente, se realiza el cálculo por medio de la calculadora de emisiones de ICAO.

5.2.2 Cálculo de las emisiones

Las toneladas de CO₂ e generadas en el 2020 por alcance se observa en el Cuadro 5.17, en donde se demuestra que el alcance 1 es el que tiene el mayor aporte de emisiones al inventario, siendo el responsable del 94,9% del total, como se evidencia en la Figura 5.2. En el caso de las emisiones indirectas de alcance 2, que comprende a las generadas por el uso de electricidad, estas aportan un 4,4% del total de las emisiones y el alcance 3 es responsable solo del 0,7% de las emisiones totales.

Cuadro 5.17. Emisiones de dióxido de carbono equivalente por alcance.

Alcance	Toneladas de CO ₂ e
1	1 529,111
2	70,123
3	11,289
Total	1 610,522

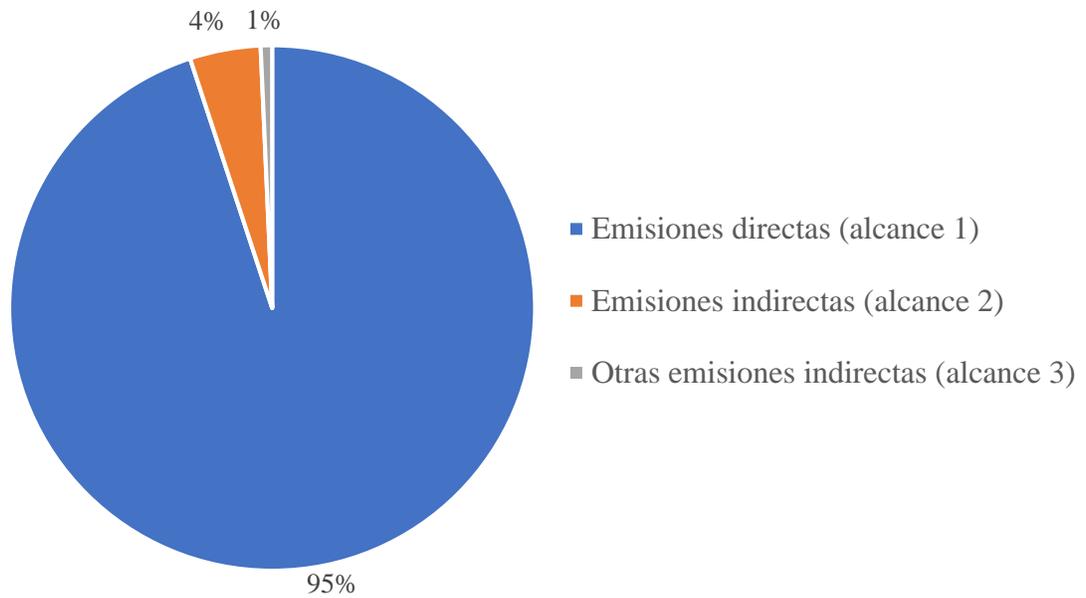


Figura 5.2. Aporte porcentual de cada alcance al inventario de GEI.

Por otro lado, en la Figura 5.3 se muestra la distribución de las emisiones de CO₂ e por fuente, siendo la de mayor aporte los animales. Sin embargo, al omitir las emisiones del PPA específicamente las relacionadas con los animales, la distribución de las emisiones se comporta como se aprecia en la Figura 5.4, en donde los combustibles y la recarga de refrigerantes pasan a ocupar el primer y segundo lugar en la generación de emisiones, respectivamente. En el caso de las fuentes viajes aéreos, extintores y lubricantes, no se alcanzan a apreciar ya que su aporte es menor al 1%.

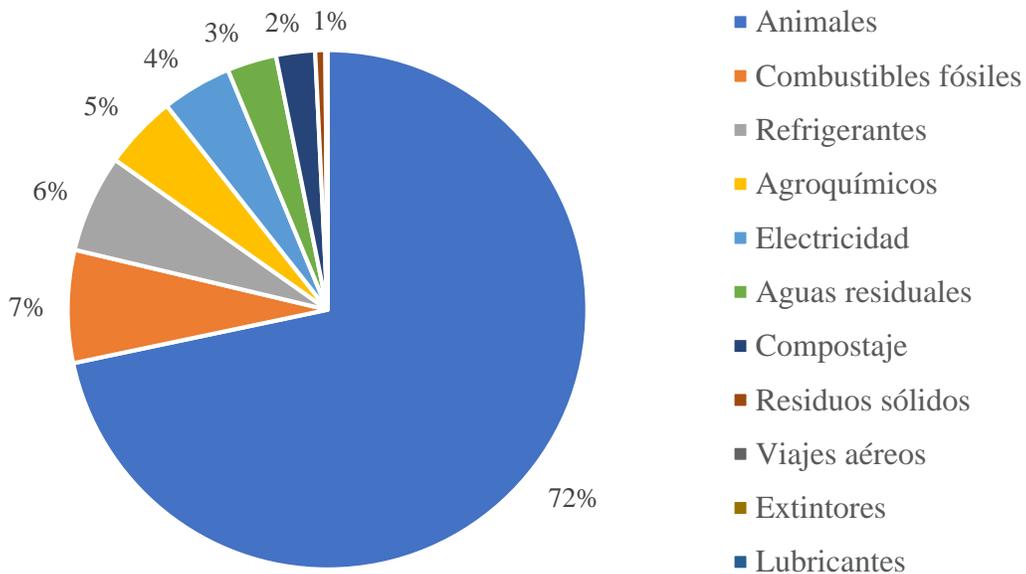


Figura 5.3. Contribución porcentual de cada fuente de emisión al inventario de GEI.

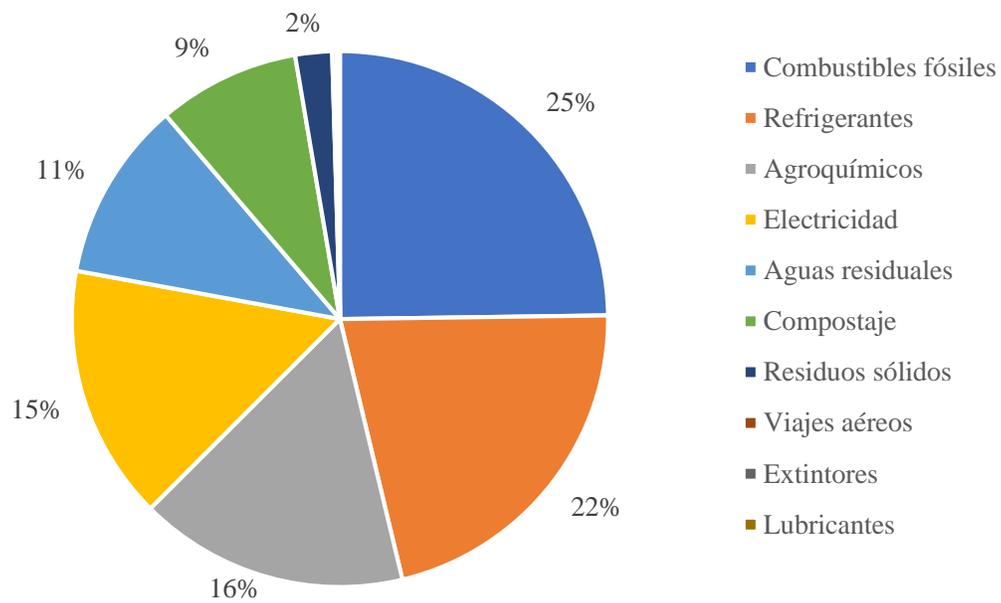


Figura 5.4. Contribución porcentual de cada actividad al inventario de GEI, omitiendo las emisiones generadas por PPA específicamente por los animales.

La omisión de las emisiones generadas por los animales del Campus que se muestra en la Figura 5.4, permite apreciar con mayor claridad las fuentes de emisión que serán prioritarias para el plan de gestión de reducciones, ya que se dificulta implementar proyectos de reducción de emisiones por fermentación entérica.

5.2.2.1 Emisiones directas

Las emisiones generadas mensualmente por fuente de alcance 1, se pueden observar en el Cuadro 5.18. Estas emisiones corresponden a las toneladas de CO₂ e que se emiten como consecuencia de las operaciones propias de la institución, en la Figura 5.5 se muestra la distribución porcentual del aporte de cada una de estas fuentes directas, en donde se evidencia que la mayor generación de emisiones es debido a los animales presentes en el CTLSC, ocupando un 76% del total de las emisiones de alcance 1, seguido de 7% combustibles y 6% de refrigerantes.

Cuadro 5.18. Emisiones de dióxido de carbono equivalente correspondientes al alcance 1.

		Toneladas de CO ₂ e									
Fuente	Combustible	Acetileno	Dióxido de carbono	Refrigerante	Extintores	Lubricantes	Agroquímicos	Agua residual	Animales	Compostaje	Total
Febrero	10,231	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	6,172	4,128	92,794	4,193	117,521
Marzo	11,948	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	6,172	4,128	92,289	4,549	119,097
Abril	4,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	6,172	4,128	93,993	3,384	111,729
Mayo	7,562	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	6,172	4,128	92,206	3,822	113,895
Junio	9,142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,348	6,172	4,128	90,996	3,261	114,147
Julio	5,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	6,172	4,128	98,106	3,263	117,748
Agosto	11,279	0,000	0,000	38,136	0,000	0,159	6,172	4,128	98,156	3,263	161,292
Septiembre	13,235	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	6,172	4,128	101,962	2,229	127,728
Octubre	7,144	0,020	0,000	0,000	0,000	0,004	6,172	4,128	102,215	2,814	122,497
Noviembre	8,404	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	6,172	4,128	100,502	2,715	121,947
Diciembre	15,229	0,000	0,000	58,683	0,361	0,000	6,172	4,128	100,475	1,753	186,800
Total	112,93	0,02	0,00	97,87	0,36	0,58	74,06	49,536	1154,73	39,03	1529,111

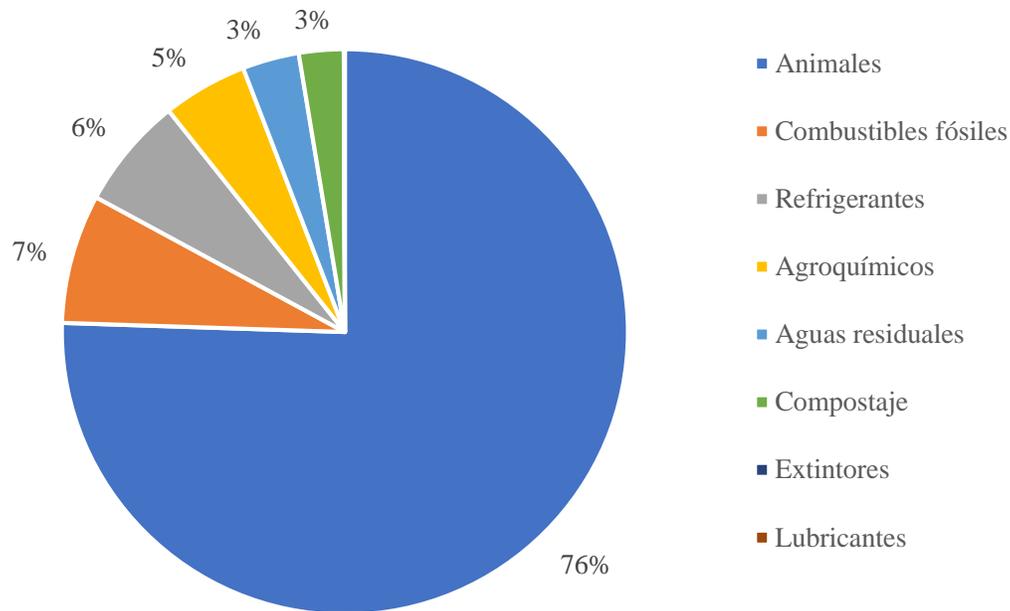


Figura 5.5. Aporte porcentual de cada fuente de alcance 1.

La distribución porcentual de la generación de emisiones debido a animales se presenta en la Figura 5.6, en donde se puede apreciar que la mayor generación es por parte del ganado vacuno para el aprovechamiento de carne, con un 79% del total de las emisiones generadas por esta actividad, seguido del ganado de leche con un 10% y “Otros animales” que incluye búfalos y caballos, con un 9%. Esto ocurre debido a que la cantidad de cabezas de ganado para aprovechamiento de carne es mayor y como se muestra en el Cuadro 4.1 de la Sección 4, los factores de emisión para el ganado de carne son más altos en comparación con los demás.

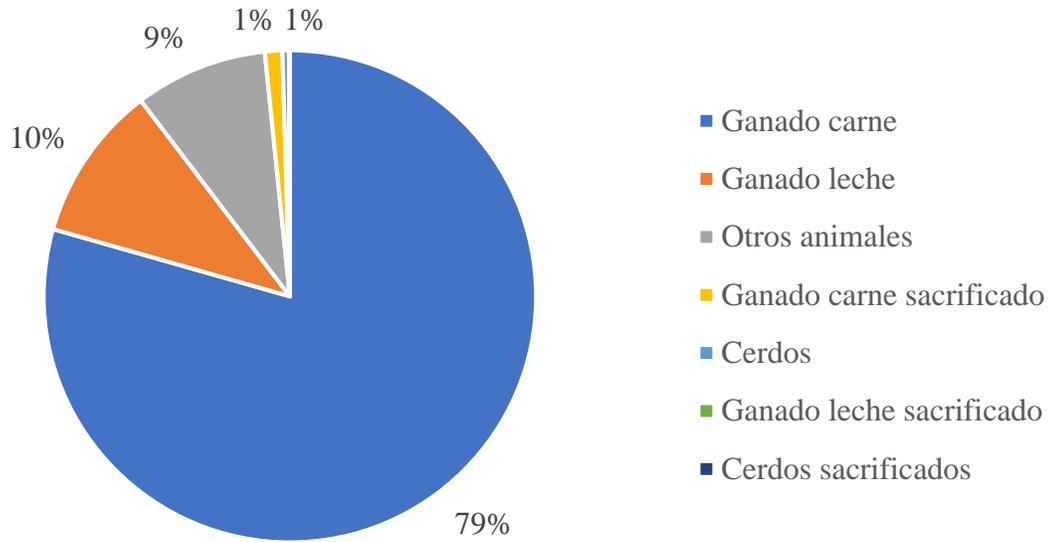


Figura 5.6. Distribución porcentual del aporte de las actividades pecuarias en la generación de emisiones.

Es importante mencionar que en la contabilización de emisiones debido a animales se incluyen a aquellos que permanecieron en la planta de matanza antes de ser sacrificados, considerando una estadía de 12 horas por cabeza de animal. De estos animales, se obtuvieron 13,15 t CO₂ e de ganado de carne sacrificado, 0,43 t CO₂ e de ganado de leche sacrificado y 0,25 t CO₂ e de cerdos sacrificados.

El resultado anterior, es considerando solamente las emisiones debido a fermentación entérica, ya que el manejo del estiércol se incluye en el compostaje de la planta de matanza. Asimismo, en el caso de las emisiones del ganado vacuno para aprovechamiento de leche, no se consideró la gestión de las excretas, ya que estas emisiones se contabilizan como compostaje en lechería.

Por otra parte, como anteriormente se mencionó, la segunda fuente de emisión de mayor aporte corresponde al consumo de combustible, la distribución porcentual de cada una de las actividades de esta fuente se puede observar en la Figura 5.7. El GLP representa el combustible con mayor consumo, esto debido a que la planta de matanza de la institución continuó operando durante el periodo de suspensión de las actividades presenciales, por lo que no se vio considerablemente afectada. Por otro lado, el consumo de la flotilla vehicular y maquinaria sí fue menor debido al contexto enfrentado por la llegada del virus SARS-COV-2 a Costa Rica.

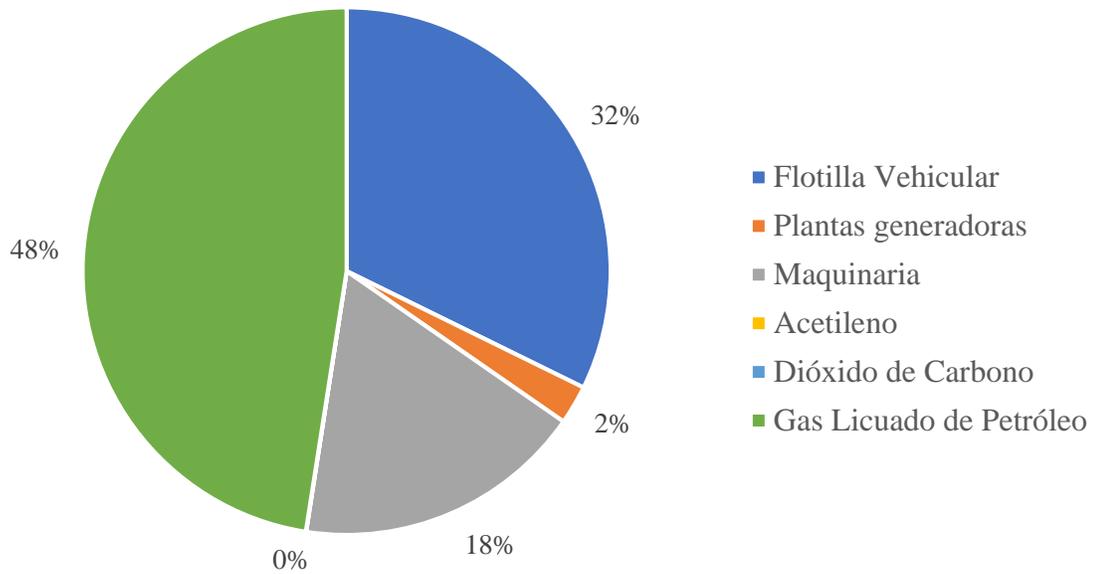


Figura 5.7. Distribución porcentual del aporte de las actividades consumidoras de combustibles en la generación de emisiones.

5.2.2.2 Emisiones indirectas

La generación mensual de emisiones indirectas debido al uso de energía eléctrica se muestra en la Figura 5.8, en donde es posible apreciar como las emisiones debido al consumo de electricidad disminuyeron drásticamente entre los meses Marzo y Abril; y aumentó paulatinamente conforme se retomaron las actividades presenciales en el CTLSC.

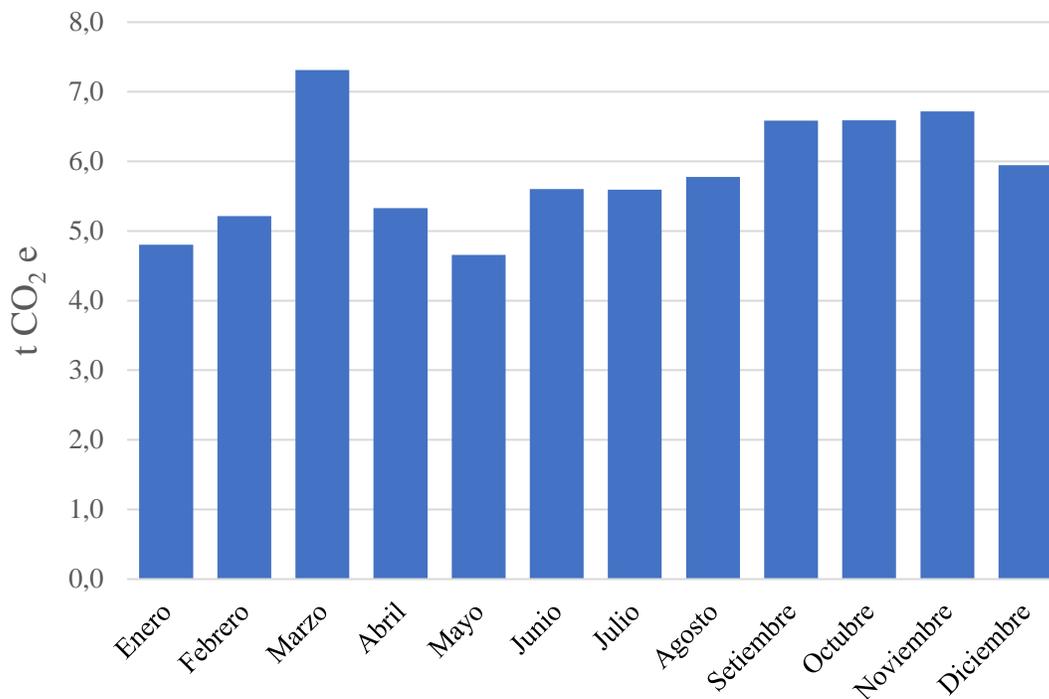


Figura 5.8. Emisiones mensuales de dióxido de carbono equivalente debido al consumo de electricidad.

5.2.2.3 Otras emisiones indirectas

En el Cuadro 5.19 se muestra la generación mensual de otras emisiones indirectas, que corresponden a los residuos sólidos no valorizables que son enviados al relleno sanitario y a un único viaje aéreo realizado. De no haberse presentado la situación mundial ante la pandemia por COVID-19, el aporte al inventario de las emisiones de alcance 3 consideradas, hubiera sido mayor, ya que los viajes aéreos con fines académicos son frecuentes y la generación de residuos sólidos es proporcional a la cantidad de personas que asisten al campus.

Cuadro 5.19. Emisiones mensuales de dióxido de carbono equivalente del alcance 3.

Mes	Toneladas de CO ₂ e	
	Residuos sólidos	Viajes aéreos
Enero	0,524	0,000
Febrero	1,571	0,000
Marzo	1,312	1,179

Mes	Toneladas de CO ₂ e	
	Residuos sólidos	Viajes aéreos
Abril	0,355	0,000
Mayo	0,780	0,000
Junio	0,783	0,000
Julio	0,647	0,000
Agosto	1,088	0,000
Septiembre	0,884	0,000
Octubre	0,842	0,000
Noviembre	0,816	0,000
Diciembre	0,508	0,000
Total	10,110	1,179

5.2.2.4 Comparación de emisiones de GEI

En el Cuadro 5.20 es posible observar los indicadores de desempeño del Campus Tecnológico Central Cartago y del Campus Tecnológico Local San José para el año 2019. Además, se muestra el resultado obtenido de la generación de emisiones de CO₂ e per cápita obtenidas para el CTLSC en el 2020, omitiendo las generadas debido a las actividades pecuarias del PPA (ganado de carne, leche, cerdos y otros animales). Lo anterior con el fin de realizar la comparación con las otras sedes, ya que si no se realiza dicha omisión el indicador real sería de 23,341 t CO₂ e por persona.

Aun omitiendo las emisiones de los animales, el indicador obtenido no es comparable con la generación de emisiones per cápita del 2019 de las demás sedes que se muestran en el Cuadro 5.20; esto, debido a la implementación de la educación virtual y el teletrabajo producto de la emergencia sanitaria mundial. Por este motivo, durante el 2020 se contó con la presencia de 69 personas dentro de las instalaciones; sin embargo, al calcular el indicador con el total de funcionarios y estudiantes matriculados de la institución en el 2020, da como resultado 0,363 t CO₂ e por persona, el cual no es comparable. Dicho esto, se espera que en años posteriores sí sea posible realizar esta comparación y buscar la mejora continua del indicador.

Cuadro 5.20. Emisiones de dióxido de carbono equivalente per cápita de diferentes sedes del Tecnológico de Costa Rica.

Sede	Año	Cantidad de estudiantes y funcionarios	Indicador de desempeño (t CO ₂ e/persona/año)
------	-----	--	--

Cartago	2019	6967	0,088
San José	2019	1013	0,081
San Carlos población presencial	2020	69	6.606
San Carlos población total	2020	1255	0,363

5.2.2.5 Exclusión de fuentes de emisión

Como se menciona en la Sección 2.1.1, es posible excluir de la cuantificación las fuentes de GEI directas o indirectas que individualmente y en sumatoria no superen el 3% del inventario total. Igualmente, la organización debe explicar por qué se excluyen de la cuantificación estas fuentes de GEI, considerando, además a aquellas cuya cuantificación no es técnicamente viable ni rentable (*INTE B5:2016 “Norma Para Demostrar La Carbono Neutralidad. Requisitos,”* 2016).

Según lo anterior, al observar el Cuadro 5.21 en donde se muestra el porcentaje de generación de cada fuente de emisión, se considera que es posible omitir el consumo de lubricantes y acetileno, quienes aportan 0,036% y 0,001% del total del inventario, respectivamente. Otro criterio a tomar en cuenta es la dificultad en obtener los datos de consumo de estas fuentes, ya que se asume que el total adquirido es el total consumido durante el año, lo que no es técnicamente viable, porque esto puede provocar el reporte de una mayor o menor cantidad de las emisiones realmente generadas.

Cuadro 5.21. Porcentaje de aporte al inventario de emisiones por fuente.

Alcance	Fuente	Toneladas de CO ₂ e	Porcentaje
1	Flotilla vehicular	36,451	2,263%
	Plantas generadoras	2,698	0,168%
	Maquinaria	20,095	1,248%
	Acetileno	0,024	0,001%
	Dióxido de Carbono	0,000	0,000%
	GLP	53,682	3,333%
	Extintores	0,361	0,022%
	Refrigerantes	97,869	6,077%
	Lubricantes	0,576	0,036%

Alcance	Fuente	Toneladas de CO ₂ e	Porcentaje
	Agroquímicos	74,061	4,599%
	Aguas residuales	49,536	3,076%
	Animales	1154,729	71,699%
	Compostaje	39,030	2,423%
2	Electricidad	70,123	4,354%
3	Residuos sólidos	10,110	0,628%
	Viajes aéreos	1,179	0,073%
	Total	1590,177	100%

Las fuentes de emisión en las que se obtuvo un porcentaje de aporte menor al 3% y no se consideraron omitir de la cuantificación de emisiones, como plantas generadoras, dióxido de carbono, extintores, compostaje, residuos sólidos y vuelos; es debido a que esta información se encuentra al alcance y no representa mayor esfuerzo conseguirla. Además, en el caso de la generación de compostaje, residuos sólidos y viajes aéreos, estos se vieron afectados por las restricciones implementadas en el Campus para enfrentar la pandemia; por lo que es probable que en años posteriores las emisiones sobrepasen el límite propuesto para poder hacer omisión de fuentes de emisión.

5.2.2.6 Cálculo de incertidumbre de las emisiones

El PPCN 2.0 lanzó en el 2020 un documento que contiene las directrices que establecen las condiciones que se requieren para realizar la estimación de incertidumbre, sin embargo, esta metodología será obligatoria a partir del 2022. Por este motivo, en el Cuadro 5.22 se muestra el cálculo aproximado de la incertidumbre del inventario, el cual no se basó en dicho documento, sino que se tomó como referencia la metodología del IPCC, como se mencionó en la sección 4.4.5.

Esta estimación de la incertidumbre incluye a las fuentes de emisión de las cuales se cuenta con la incertidumbre de los datos de actividad y del factor de emisión, o existen el caso en los que se cuenta con solo uno de estos valores. Las fuentes de emisiones restantes que no se incluyeron en el cálculo, fue debido a que en el factor de emisión publicado por el IMN no se especifica la incertidumbre asociada o porque las organizaciones relacionadas con las fuentes, no cuentan con las incertidumbres de los equipos con los que brindan los servicios.

Por esta razón, considerando las fuentes de emisión que se muestran en el Cuadro 5.22, se estimó una incertidumbre de 1,74% del inventario de emisiones de GEI.

Cuadro 5.22. Incertidumbre calculada del inventario de emisiones.

Fuente	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (%)	Incertidumbre del factor de emisión (%)	Incertidumbre combinada	Contribución a la varianza
Plantas generadoras de electricidad	CO ₂	0,50	3,16	3,19	2,84213E-05
	CH ₄	0,50	131,00	131,00	4,59516E-08
	N ₂ O	0,50	130,50	130,50	3,9814E-07
Gas licuado de petróleo	CO ₂	0,50	8,79	8,80	0,085620868
	CH ₄	0,50	125,50	125,50	5,71825E-05
	N ₂ O	0,50	125,52	125,50	4,85963E-06
Flotilla vehicular diesel	CO ₂	0,50	3,16	3,19	0,003913433
	CH ₄	0,50	94,00	94,00	4,85945E-06
	N ₂ O	0,50	122,50	122,50	0,001921108
Flotilla vehicular gasolina	CO ₂	0,50	5,24	5,26	0,000179613
	CH ₄	0,50	139,00	139,00	9,12911E-06
	N ₂ O	0,50	122,00	122,00	0,000149198
Maquinaria diesel	CO ₂	0,50	3,16	3,19	6,34028E-06
	CH ₄	0,50	124,00	124,00	5,61062E-09
	N ₂ O	0,50	130,50	130,50	4,31309E-09
Maquinaria Gasolina	CO ₂	0,50	5,24	5,26	0,000899942
	CH ₄	0,50	125,50	125,50	1,27814E-05
	N ₂ O	0,50	130,50	130,50	1,26068E-05
Lubricantes- Motores de dos tiempos	CO ₂	-	12,24	12,24	0,000251167
	CH ₄	-	127,00	127,00	1,51443E-06
	N ₂ O	-	125,00	125,00	1,45711E-06
Agua Residual (Tratamiento)	CH ₄	71,96	-	71,96	2,907459761
Agua Residual (Descarga)	CH ₄	8,50	-	8,50	0,000512992
Residuos Sólidos	CH ₄	0,13	-	0,13	6,15737E-07
Agroquímicos	N ₂ O-aportes	-	2,60	2,60	0,007039755

Fuente	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (%)	Incertidumbre del factor de emisión (%)	Incertidumbre combinada	Contribución a la varianza
	N ₂ O - lixiviados	-	1,28	1,28	8,5703E-05
	N ₂ O - volatilización	-	2,60	2,60	0,00028159
Electricidad	CO ₂	-	1,37	1,37	0,003558141
Total					3,012013494
Porcentaje de incertidumbre del inventario total					1,73551534

5.3 REDUCCIONES, COMPENSACIÓN Y CÁLCULO DE LA CARBONO NEUTRALIDAD

5.3.1 Plan de gestión de las reducciones

En el Cuadro 5.23 se puede observar un extracto del Plan de Gestión de Reducciones realizado para el año 2020, en donde se consideró implementar medidas para reducir las emisiones generadas por el consumo eléctrico y el uso de combustibles fósiles. El plan fue realizado mediante la herramienta Microsoft Excel y contempla la declaración de compromiso por parte de la alta dirección del CTLSC, las actividades a realizar para implementar las medidas, la metodología para la cuantificación de las reducciones y una plantilla para el cálculo de las emisiones reducidas según la medida propuesta.

Cabe destacar que la cantidad de emisiones a reducir meta, corresponde al total de emisiones evitadas debido a la implementación de las medidas de reducción. Lo anterior, puesto que al momento de elaborar el plan no se propuso una cantidad específica de emisiones a reducir, debido a la situación atípica enfrentada durante la pandemia por COVID-19. Dicha situación, impidió realizar una estimación de las toneladas de CO₂ e a evitar, basándose en el comportamiento usual del CTLSC.

Cuadro 5.23. Resumen del Plan de Gestión de Reducciones.

Fuente	Meta	Medidas	Responsables
Consumo de energía eléctrica	Reducir 1,48 toneladas de CO ₂ e	Reemplazo de iluminación a tecnología LED	GASEL Oficina de ingeniería

	debido al consumo de energía eléctrica		
Consumo de combustibles	Reducir 0,065 toneladas de CO ₂ e debido al consumo de combustibles fósiles	Realizar viajes compartidos cuando las rutas solicitadas por diferentes dependencias coincidan Cambiar el calentador de agua del comedor que utiliza gas licuado de petróleo por uno solar	GASEL Unidad de transportes Servicios Generales

5.3.2 Cuantificación de las reducciones del 2020

A partir de las medidas implementadas del Plan de Gestión de Reducciones, se mostrarán los resultados obtenidos respecto a las toneladas de CO₂ e evitadas en consumo de electricidad y combustibles fósiles:

5.3.2.1 Reducciones en el consumo de energía eléctrica

En coordinación con la Oficina de Ingeniería del CTLSC se consideró instalar iluminación de tecnología LED en lugar de los fluorescentes en uso, de tres edificios de la institución que iban a ser remodelados; los cuales fueron la biblioteca, el comedor y la residencia número siete. Para el cálculo de la reducción de emisiones, se consultó la fecha de instalación de las nuevas luminarias, la cantidad de horas promedio de uso diario y la potencia de las luminarias reemplazadas y las instaladas. Cabe destacar que la cantidad de luminarias antes y después de la remodelación varía, ya que se realizaron cambios en la instalación eléctrica, en el Cuadro 5.24 se muestran los detalles.

En el caso de la biblioteca, esta comenzó labores con el cambio de luminarias desde mayo del 2020. De la misma manera, el comedor inició a funcionar a partir de febrero y a pesar de la suspensión de las actividades del Campus, este continuó el servicio de alimentación. Por último, la residencia número siete, de momento ha permanecido desocupada por lo que no se logró registrar consumo eléctrico en el año 2020.

Cuadro 5.24. Potencia de las luminarias tipo fluorescente y LED.

Edificios	Tiempo de uso (h/día)	Luminarias antes (unidad)	Potencia antes (W)	Luminarias después (unidad)	Potencia después (W)
Biblioteca	14	280	59	339	18
		20	75	5	60
		-	-	1	30
Comedor	2	100	59	98	18
		16	75		
Residencia 7	8	76	59	96	18
		13	75	2	30

De esta forma, al realizar el cálculo del consumo con luminarias reemplazadas y las instaladas considerando el periodo de tiempo de implementación de la medida, se obtuvieron los resultados que se pueden observar en el Cuadro 5.25. Dichos resultados muestran una reducción de 40 632 kWh para el periodo específico en que se implementó la medida, lo que representó una reducción de 1,48 t CO₂ e.

Cuadro 5.25. Consumo eléctrico y generación de emisiones antes y después del cambio de luminarias.

Edificio	Consumo antes (kWh)	t CO ₂ e antes	Consumo después (kWh)	t CO ₂ e después	t CO ₂ e evitadas
Biblioteca	59286	2,16	21161	0,77	1,39
Comedor	3337	0,12	338	0,03	0,09
Residencia 7	0	0,00	0	0,00	0,00

5.3.2.2 Reducciones en el consumo de combustibles fósiles

Viajes compartidos

La encargada de la Unidad de Transportes del CTLSC es quien recibe las solicitudes de transporte por parte de las diferentes dependencias de la institución. De esta forma, cuando dos solicitudes coinciden en rutas o destinos, se procura que el viaje se realice en el mismo vehículo. En el Cuadro 5.26 se muestran los viajes realizados de esta manera durante el 2020, en donde se evidencia que por un total de 11 viajes compartidos se evitaron 0,29 kg de CO₂ e.

Cuadro 5.26. Viajes compartidos realizados durante el 2020.

N° de viaje	Fecha	Salida	Destino	Placa	Emisiones del vehículo (kg CO2 e/km)	kilómetros compartidos (km)	Emisiones evitadas (kgCO2/viaje)
1	7-feb.	CTLSC	Cartago-Zona Sur-Limón- Puntarenas-Guanacaste- Heredia	265-192	0.00059	136	0.08
2	11-feb.	CTLSC	Cartago-Zona Sur-Limón- Puntarenas-Guanacaste- Heredia	265-255	0.00014	25	0.00
3	14-feb.	CTLSC	San José	265-207	0.00020	24	0.00
4	17-feb.	CTLSC	Cartago-Zona Sur-Limón- Puntarenas-Guanacaste- Heredia	265-255	0.00014	140	0.02
5	2-mar.	CTLSC	Cartago-Zona Sur-Limón- Puntarenas-Guanacaste- Heredia	265-218	0.00026	136	0.03
6	4-mar.	CTLSC	Cartago-Zona Sur-Limón- Puntarenas-Guanacaste- Heredia	265-161	0.00033	149	0.05
7	10-mar.	CTLSC	TEC	265-255	0.00014	138	0.02
8	16-mar.	CTLSC	TEC	265-255	0.00014	140	0.02
9	18-mar.	CTLSC	El Amparo-Medio Queso- Los Lirios	265-184	0.00032	82	0.03
10	19-mar.	CTLSC	San Ramón	265-159	0.00029	45	0.01
11	5-ago.	CTLSC	TEC	265-257	0.00012	140	0.02
kilogramos de CO ₂ e evitados							0.29

Las emisiones generadas por kilómetro recorrido de cada vehículo se calcularon mediante el registro histórico de consumo de combustible y kilómetros recorridos por placa, lo que permitió calcular el rendimiento de cada vehículo de manera individual, para obtener un dato representativo y confiable.

De la misma manera en que se vieron afectadas las reducciones respecto al cambio de luminarias por la pandemia, las emisiones evitadas debido a la implementación de viajes compartidos no fueron las esperadas, ya que el uso de los vehículos de la institución no fue tan frecuente como en un período normal y se limitó la cantidad de personas que podían viajar por vehículo.

Calentador solar

El equipo sustituido que calentaba agua mediante el consumo de GLP, era utilizado en promedio 3 horas por semana, para lavar áreas del comedor institucional que contenían grasas. Una vez realizada la instalación del calentador solar el 19 de noviembre del 2020, se calculó la reducción de emisiones por el uso de 4 semanas del mismo, periodo en el que disminuye la cantidad de alimentos preparados, debido a la cercanía de los días festivos y la poca afluencia de personas en la institución. A pesar de lo anterior, se alcanzó evitar el consumo de 40,4 litros de GLP por este lapso de tiempo, obteniendo 0,065 toneladas de CO₂ e reducidas.

5.3.3 Cálculo de compensación del 2020

La cantidad de emisiones que se deben compensar para alcanzar la carbono neutralidad son 1610,522 toneladas de CO₂ e. Como se muestra en el Cuadro 5.27 no se contabilizaron las remociones generadas en el CTLSC como consecuencia de la pandemia y las restricciones de traslado e ingreso al Campus, por este motivo es necesario compensar el total de emisiones contabilizadas en el inventario realizado para el 2020. En el caso de las emisiones reducidas, estas ya se encuentran contempladas en el inventario de emisiones; sin embargo, se muestran en el Cuadro 5.27 para ilustrar el inventario total.

De esta forma, para que la institución pueda optar por la carbono neutralidad, se requiere una inversión de \$7,5 por tonelada, según el costo establecido por el FONAFIFO (*FONAFIFO / Sitio Web*, n.d.). De acuerdo a lo anterior, es necesario invertir un total de \$ 12 079 por concepto de compra de certificados de carbono.

Cuadro 5.27. Datos para el cálculo de la compensación del 2020.

Variable	Toneladas de CO ₂ e
Emisiones	1610,522
Remociones	0
Reducciones	1,550

5.3.4 Cálculo de la carbono neutralidad

Al contar con el total de emisiones de CO₂ e generadas en el año 2020, es posible realizar el cálculo de la carbono neutralidad, para así, obtener las 0 toneladas de CO₂ e que se pueden observar a continuación, al sustituir la Ecuación 1 que se muestra en la sección 3.5:

$$\sum E - \sum R - \sum C = 0$$
$$1610,522 \text{ t } CO_2 \text{ e} - 0 \text{ t } CO_2 \text{ e} - 1610,522 \text{ t } CO_2 \text{ e} = 0 \text{ t } CO_2 \text{ e}$$

Cabe mencionar que la reducción en emisiones de 1,550 t CO₂ e alcanzada mediante los proyectos implementados, no se incluye en la ecuación, ya que este factor se encuentra contemplado en el total de emisiones cuantificadas.

5.4 MANUAL PARA CUANTIFICAR EMISIONES DEBIDO A LAS ACTIVIDADES PECUARIAS

El ganado constituye una fuente importante de emisiones de GEI, principalmente por su alta tasa de generación de CH₄ provocada por el tipo de sistema digestivo y la producción de estiércol. Estas emisiones pueden variar según especie de animal, región geográfica, ingesta de alimentos, manejo de excretas, entre otras variables (Dong et al., 2006). Como se mostró anteriormente, la actividad pecuaria de las tres fincas del CTLSC, representó un aporte del 72% al inventario de emisiones del 2020. Es por esto, que se tomó la decisión de realizar el cálculo de los factores de emisión según las características de estas fincas, mediante la elaboración y aplicación del manual para cuantificar emisiones debido a las actividades pecuarias de la institución.

5.4.1 Factores de emisión calculados mediante el manual elaborado

Al aplicar la metodología propuesta en el manual elaborado para cuantificar las emisiones de las actividades pecuarias del CTLSC, se obtuvieron los factores de emisión que se muestran en el Cuadro 5.28, para generación de CH₄ por fermentación entérica y CH₄ y N₂O por gestión del estiércol. En este mismo cuadro, es posible comparar los factores de emisión propios del Campus, con los factores de emisión reportados por el IMN en el 2020.

En el caso de fermentación entérica, los factores estimados son levemente menores que los utilizados por defecto, a excepción del obtenido para la categoría de terneros; mientras que

los calculados para la gestión del estiércol, cambian considerablemente respecto al publicado por el IMN. Esto sucede debido a que este factor incluye variables como el peso del animal, la ingesta de materia seca, la cantidad de sólidos volátiles contenidos en el estiércol y el tipo de gestión que se le brinda, lo que provoca que difiera entre categoría y no se asemeje al factor proporcionado por el IMN.

Cuadro 5.28. Factores de emisión obtenidos para las categorías de ganado de carne al aplicar el manual elaborado.

Categoría	Factores de emisión fermentación entérica		Factores de emisión gestión del estiércol			
	(kg CH ₄ /cabeza año)		(kg CH ₄ /cabeza año)		(kg N ₂ O/ año)	
	IMN	Manual	IMN	Manual	IMN	Manual
Terneros	19,48	29,19		7,60	-	1,00
Hembras en crecimiento	63,61	46,40		18,17	-	2,50
Machos en crecimientos	66,25	45,81	1	17,62	-	2,07
Hembras maduras	85,80	72,44		40,99	-	3,22
Machos maduros	111,70	85,22		57,09	-	0,24

5.4.2 Comparación de resultados al aplicar ambas metodologías

En el Cuadro 5.29 se pueden observar los resultados obtenidos al aplicar los factores de emisión por defecto publicados por el IMN y los estimados mediante el manual elaborado; en donde las emisiones debido a la digestión del ganado son las que generan un mayor aporte con 759,39 t CO₂ e, seguidas de la generación de CH₄ a partir de la gestión del estiércol con un total de 358,95 t CO₂ e. Es importante mencionar, que se omiten las emisiones de N₂O generadas debido a la gestión del estiércol, esto con el fin de realizar la comparación en igualdad de condiciones, ya que el IMN no incluye un factor de emisión para este gas.

Dicho lo anterior, se tiene que para fermentación entérica las toneladas de CO₂ e calculadas al aplicar el manual, son menores que las obtenidas mediante los factores de emisión del IMN. Caso contrario para la gestión del estiércol, en donde al utilizar la metodología

propuesta en el manual se cuantificaron 358,95 t CO₂ e, mientras que al aplicar el único factores de emisión publicado por el IMN, se obtuvo como resultado 14,42 t CO₂ e.

Cuadro 5.29. Comparación de los resultados de toneladas de CO₂ e aplicando ambos métodos.

Categoría	Fermentación entérica (t CO ₂ e)		Gestión estiércol (t CO ₂ e)	
	IMN	Manual	IMN	Manual
Terneros	69,27	103,79	3,56	27,04
Hembras en crecimiento	175,33	127,89	2,76	50,07
Machos en crecimientos	159,76	110,46	2,41	42,49
Hembras maduras	456,91	385,78	5,33	218,27
Machos maduros	41,25	31,47	0,37	21,08
Total	902,51	759,39	14,42	358,95

La diferencia entre ambos datos se justifica debido a que la metodología descrita en el manual considera el peso de cada animal y otros valores por defecto que propone el IPCC, de acuerdo a la categoría, región, alimentación, tipo de manejo del estiércol y otros aspectos. Por este motivo, al calcular el total de emisiones bajo ambas metodologías, se obtienen los resultados que se muestran en el Cuadro 5.30, en donde el total de emisiones derivadas de la aplicación del manual, son mayores que las cuantificadas mediante los valores por defecto del IMN, con una diferencia de 204,21 t CO₂ e.

Cuadro 5.30. Comparación de las emisiones totales cuantificadas según cada metodología, omitiendo las emisiones de N₂O por gestión del estiércol.

IMN (t CO ₂ e)	Manual (t CO ₂ e)
916,93	1121,14

Lo anterior se debe principalmente a que los factores de emisión del IMN para fermentación entérica y gestión del estiércol, se basan en valores por defecto propuestos por el IPCC. Sin embargo, estos valores son asociados a la región de América Latina, la cual es muy amplia y toma como base estimaciones de países desarrollados como Brasil (Dong et al., 2006). Por

esta razón, al utilizar factores de emisión que comprenden características propias de las fincas, los resultados obtenidos varían.

Un ejemplo de lo anterior, es el factor de emisión por CH₄ debido al manejo del estiércol, el cual no se divide por subcategoría y no considera el tipo de gestión que se realiza con las excretas, ni la ingesta de materia seca de los animales. Por este motivo, las emisiones cuantificadas para el manejo del estiércol sobrepasan considerablemente las calculadas mediante el factor de emisión del IMN.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El SGCN incluye los documentos necesarios para mejorar continuamente en la búsqueda de la carbono neutralidad del CTLSC. Se recomienda la revisión y actualización anual del marco documental para trabajar en las oportunidades de mejora que surjan.

Se recomienda implementar una metodología más precisa para conocer la cantidad de refrigerante recargado a los aires acondicionados, mediante el registro del peso del cilindro antes y después de realizar la recarga.

Con el fin de mejorar el registro de lubricante de maquinaria, se recomienda segregar la cantidad de consumo de lubricante por unidad del PPA e indicar el tipo de maquinaria a la que se le aplica.

El registro del consumo de agroquímicos puede ser más preciso, por lo que se sugiere la implementación de una bitácora en campo, en donde se anote la fecha de inicio y fin de la aplicación, el nombre del agroquímico, la cantidad aplicada y el área del terreno al que se le aplica.

El CTLSC generó un total de 1610,522 toneladas de CO₂ e durante el año 2020, considerando las emisiones directas, indirectas y, de otras indirectas, las generadas debido a los residuos sólidos no valorizables y viajes aéreos.

Del total de emisiones de GEI, los animales son los responsables de la mayor contribución al inventario, aportando en conjunto un total de 1154,73 toneladas de CO₂ e, lo que representa el 72% del inventario de emisiones.

Seguido de los animales, las fuentes que aportan más al inventario de emisiones son los combustibles fósiles con una generación de 112,95 toneladas de CO₂ e que representa el 7% y los refrigerantes con un aporte de 97,87 toneladas de CO₂ e, siendo el 6% del total de las emisiones.

Las fuentes de emisión de lubricantes y acetileno, se omiten del inventario de emisiones de acuerdo con lo establecido por la Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad, debido a que su aporte no supera el 3% del inventario y no es técnicamente viable su cuantificación.

Con el propósito de neutralizar las emisiones generadas en el 2020, la institución debe compensar 1610,522 toneladas de CO₂ e, lo que representa una inversión aproximada de \$12 079 por concepto de compra de certificados de carbono.

El inventario realizado no contempló las remociones de CO₂ e provocadas por la cobertura vegetal del CTLSC durante el 2020, por lo que se recomienda que un profesional en el área realice esta medición para incluir este dato en el inventario y así, reducir el costo de la compensación en los siguientes años.

El seguimiento del Plan de Gestión de las Reducciones del 2020 se vio afectado debido a la pandemia por el virus SARS-COV-2; sin embargo, se alcanzó reducir 1,55 t CO₂ e en las fuentes de emisión consumo de electricidad y consumo de combustibles fósiles.

Las emisiones obtenidas al aplicar los factores de emisión estimados para el ganado vacuno de aprovechamiento de carne fueron 1121,14 t CO₂ e, las cuales superan en 204,21 t CO₂ e, al total de emisiones resultado del uso de los factores de emisión del IMN.

Los factores de emisión calculados al aplicar el Manual para la cuantificación de emisiones debido a la actividad pecuaria del CTLSC, consideran solo el inventario de animales de 4 meses del año 2020, por lo que se recomienda que en los siguientes años se realice el cálculo considerando el promedio de los factores de emisión estimados para cada mes del año. Además, es importante realizar pesajes de cada animal periódicamente, mientras sea viable, esto con el fin de obtener datos más representativos.

7 REFERENCIAS

- Almufadi, F. A., & Irfan, M. A. (2016). Initial estimate of the carbon footprint of Qassim university, Saudi Arabia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(15), 8511–8514.
- Anderson, T. R., Hawkins, E., & Jones, P. D. (2016). CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 40(3), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>
- Breitenbeck, G. A., & Schellinger, D. (2004). Calculating the reduction in material mass and volume during composting. *Compost Science and Utilization*, 12(4), 365–371. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702206>
- Calderón, G. S., Rodríguez, J. B., Flores, M. C., Oviedo, C. L., Urvina, L., Barboza, G., & Rojas, P. M. (2020). *Informe de Final Inventario de GEI del cantón de San Carlos*. Campus Tecnológico Local San Carlos / TEC. (n.d.). Retrieved February 24, 2020, from <https://www.tec.ac.cr/ubicaciones/campus-tecnologico-local-san-carlos>
- Chacón, M., Reyes, C., & Segura, J. (2015). *Estrategia para la ganadería baja en carbono en Costa Rica*. 110.
- Cheremisinoff, N. P. (2011). Pollution Management and Responsible Care. In *Waste*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10031-2>
- Cheremisinoff, N. P., Rosenfeld, P., & Davletshin, A. R. (2008). A Primer on Responsible Environmental Management. *Responsible Care*, 1–39. <https://doi.org/10.1016/b978-1-933762-16-6.50005-0>
- Dirección de Cambio Climático. (2019). *Guía para la participación en el Programa País de Carbono Neutralidad*.
- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., Aparecida de Lima, M., & Romanovskaya, A. (2006). Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 10–91.
- El PNUD en Costa Rica. (n.d.). Retrieved April 1, 2020, from <https://www.cr.undp.org/>
- FAO. (n.d.). Retrieved March 30, 2020, from <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/secuestro-de-carbono-en-el-suelo/es/>

- FAO and Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases. (2020). Livestock Activity Data Guidance (L-ADG). In *Livestock Activity Data Guidance (L-ADG)*. <https://doi.org/10.4060/ca7510en>
- Ferreira, V., Lopez Torregrosa, J. I., & Capuz Rizo, S. (2018). *the Use of Carbon Footprint As a Key Performance Indicator in Higher*. July, 1291–1303. http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/1643/AT04-019_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FONAFIFO | Sitio Web. (n.d.). Retrieved March 30, 2020, from <http://www.fonafifo.go.cr/es/servicios/desarrollo-y-comercializacion/>
- Global Temperature | Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet. (n.d.). Retrieved March 17, 2020, from <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Güereca, L. P., Torres, N., & Noyola, A. (2013). Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 47, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.030>
- Hilson, G., & Nayee, V. (2002). Environmental management system implementation in the mining industry: A key to achieving cleaner production. *International Journal of Mineral Processing*, 64(1), 19–41. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(01\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(01)00071-0)
- Hoy en el TEC. (n.d.). Retrieved June 8, 2021, from <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2020/06/03/campus-cartago-mantiene-su-compromiso-carbono-neutralidad>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2020). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero: Vol. Décima*.
- INTE B5:2016 “Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Requisitos” (Issue 506). (2016).
- INTECO. (2016). *INTE 12-01-06:2016 Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Requisitos*. 1–27.
- Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono*. (2012).
- IPCC. (n.d.). Retrieved March 31, 2020, from https://archive.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014. *Ipcc*, 33.

- <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2017). Introduction: Climate Change. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 1–5, xix–xx. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.15009-8>
- IPCC. (2019). Informe especial sobre los impactos de un calentamiento global de 1,5°C y las sendas de emisión relacionadas. español. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC DDC Glossary*. (n.d.). Retrieved March 17, 2020, from https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_fg.html
- ISO - About us*. (n.d.). Retrieved March 22, 2020, from <https://www.iso.org/about-us.html>
- ISO 14064*. (2018). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
- Key Findings | United Nations*. (n.d.). Retrieved March 24, 2021, from <https://www.un.org/en/climatechange/science/key-findings>
- Kuh, K. F. (2017). The law of climate change mitigation: An overview. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (Vols. 1–5). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.10027-8>
- Larsen, H. N., Pettersen, J., Solli, C., & Hertwich, E. G. (2013). Investigating the Carbon Footprint of a University - The case of NTNU. *Journal of Cleaner Production*, 48, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.007>
- Li, X., Tan, H., & Rakes, A. (2015). Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 106, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.084>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2015). Contribución Prevista y Determinada de Costa Rica. *Gobierno de Costa Rica*, 1–19. [http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Costa Rica First/INDC Costa Rica Version 2 0 final ES.pdf](http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Costa+Rica+First/INDC+Costa+Rica+Version+2+0+final+ES.pdf)
- Mora, L. M., & Equipo Técnico PMR-Costa Rica. (2016). *Categoría Organizacional. Programa País Carbono Neutralidad*.
- Nama Ganadería. (2015). *Nama Ganadería*. 1–28.
- National Strategy for Carbon Neutrality*. (2009). <http://www.digeca.go.cr/documentos/ambientalizacion/ENCCV.pdf>
- Plan Nacional de Descarbonización*. (2018).

- Ranadhir Mukhopadhyay, S. M. K. and J. M. (2018). Introduction 1.1. In *Climate Change* (pp. 1–13). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812164-1/00001-3>
- Sabine, C. (2014). The IPCC fifth assessment report. *Carbon Management*, 5(1), 17–25. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.80>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica*. (n.d.). Retrieved March 28, 2021, from http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=46546&nValor3=49201&strTipM=TC
- Toohey, D. (2015). Stratospheric Chemistry Topics: Halogens. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Second Edition*, 5, 215–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00385-6>
- Viquez-Rojas, A. (2006). *Efecto de cinco dosis crecientes de lombricompost y estiércol fresco bovino sobre la producción y valor nutritivo de Brachiaria brizantha cv. Toledo bajo condiciones controladas, Santa Clara, San Carlos*. 55.
- WBCSD, & WRI. (2012). *Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard*. 116.
- Wong, C. W. Y., Lai, K. hung, Lun, Y. H. V., & Cheng, T. C. E. (2015). Environmental management. *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, 9783319236803, 1–27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23681-0_1
- WRI. (2015). *GHG Protocol Scope 2 Guidance. March*, 151. http://ghgprotocol.org/files/ghgp/Scope 2 Guidance_Final.pdf
- Yañez, P., Sinha, A., & Vásquez, M. (2020). Carbon footprint estimation in a university campus: Evaluation and insights. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/SU12010181>

APÉNDICES

APÉNDICE 1: INVENTARIO DE LA FLOTILLA VEHICULAR

Cuadro A.1.1. Inventario de la flotilla vehicular del CTLSC.

Código gobierno	Número placa	Marca	Tipo de vehículo	Año	Tipo combustible	Dependencia asignada	
265	168	Toyota	Pick Up	2008	Diesel	Unidad de Transportes	
265	169	Toyota	Pick Up	2008	Diesel		
265	178	Toyota	Automóvil	2009	Gasolina		
265	184	Mitsubishi	Sw	2009	Diesel		
265	186	Mitsubishi	Pick Up	2009	Diesel		
265	192	Mitsubishi	Buseta	2009	Diesel		
265	196	Yamaha	Motocicleta	2009	Gasolina		
265	197	Yamaha	Motocicleta	2009	Gasolina		
265	204	Suzuki	Panel	2009	Gasolina		
265	207	Toyota	Automóvil	2009	Gasolina		
265	209	Mitsubishi	Automóvil	2010	Gasolina		
265	218	Toyota	Sw	2011	Diesel		
265	237	Nissan	Automóvil	2014	Gasolina		
265	253	Zhong Tong	Autobús	2017	Diesel		
265	255	Hyundai	Automóvil	2017	Gasolina-Hibrido		
265	257	Hyundai	Automóvil	2017	Gasolina-Hibrido		
265	129	Toyota	Pick Up	1995	Diesel	Escuela de Ingeniería en Agronomía	
265	202	Mitsubishi	Pick Up	2009	Diesel	CIDASTH	
265	91	Toyota	Jeep	1991	Diesel	PPA	
265	108	Toyota	Pick Up	1995	Diesel		
265	119	Mitsubishi	Camión	1997	Diesel		
265	133	Toyota	Pick Up	2003	Diesel		
265	193	Mitsubishi	Pick Up	2009	Diesel		
265	230	Mitsubishi	Camión	2013	Diesel		
265	247	Toyota	Pick Up	2016	Diesel		
265	045	John Deere	Tractor	1980	Diesel		
265	187	Same	Tractor	2009	Diesel		
265	223	Case IH	Tractor	2011	Diesel		
265	262	Landini	Tractor	2018	Diesel		
265	196	Yamaha	Motocicleta	2006	Gasolina		Vigilancia
265	197	Yamaha	Motocicleta	2006	Gasolina		
265	139	Honda	Motocicleta	2007	Gasolina		
265	149	Yamaha	Motocicleta	2007	Gasolina		
265	150	Yamaha	Motocicleta	2006	Gasolina		
265	162	Yamaha	Motocicleta	2007	Gasolina		
265	163	Yamaha	Motocicleta	2007	Gasolina		
262	177	Yamaha	Cuadriciclo	2008	Gasolina		

