

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

**“Sistema de gestión para la certificación carbono neutralidad en el Instituto
Tecnológico de Costa Rica”**

Raquel Mejías Elizondo

CARTAGO, abril, 2018



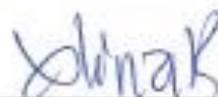
“Sistema de gestión para la certificación carbono neutralidad en el Instituto Tecnológico de Costa Rica”

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



MSc. Teresa Salazar Rojas
Director



Ing. Alina Rodríguez Rodríguez
Lector 1



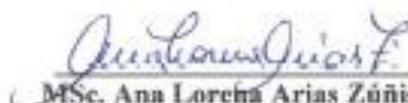
Ing. Jessie Vega Méndez
Lector 2



MSc. Diana Zambrano Piamba
Coordinador COTRAFIG



Ph.D. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química



MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi familia, los Bubus, por ser incondicionales.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo y confianza en mí durante todo este proceso, siempre alentarme a perseguir mis sueños y darme los recursos para lograrlos. Por siempre consentirme y traerme cariño y amor de casa cuando teníamos tiempo sin vernos.

A mi hermano por siempre entenderme, apoyarme y video llamarme cuando más lo necesitaba, por sus visitas a Cartago que me dieron un aire de familia, aunque sea por unos días.

A mis amigos, Ari, Fio, Luis, Pao, Abi, Cindy, por hacer del tiempo de universidad algo más entretenido, por los momentos de risas, lágrimas y crisis, por estar siempre pendientes de mi avance en este último trabajo.

A mis amigos más cercanos del cole, por no alejarse a pesar de los kilómetros que nos separan, por siempre estar, aunque sea en WhatsApp, por hacerme reír y confiar en que iba a terminar este trabajo a tiempo.

A Alina por confiar en mi trabajo, apoyarme y perdonarme en mis errores. Por todo lo que me ha enseñado en el ambiente laboral y por sus exigencias a las que le he sacado mucho provecho.

A la profe Tere por todo su apoyo, sus correcciones y su dedicación. Por estar dispuesta a correr conmigo.

A Silvi, Andre, Luis, Maryeluz, Kimberly y Fernanda por todo el apoyo en la verificación de indicadores, sin ustedes nunca lo hubiera logrado a tiempo.

Al Vicerrector de Administración, Humberto Villalta y el Rector Julio Calvo por su compromiso con la carbono neutralidad, gracias a eso siento que mi trabajo es provechoso y que he podido devolver al TEC un poco de lo mucho que me ha dado.

A todos los que con mucho entusiasmo han sido parte de este sistema de gestión, a Carlos Sojo, Manuel Centeno, Jefferson Ilama, Carlos Quesada, Marcela Quirós, Pablo Camacho, Didier Obando y todos los choferes de la Unidad de Transportes y encargados de vehículos quienes sin quejas han agregado más quehacer a sus días para que esto funcione.

A José por quedarse despierto conmigo y ser el apoyo cuando el estrés me afectaba. Por tener siempre comida para mí y disminuir mi cansancio con los buenos ratos.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	<i>Objetivo general</i>	3
2.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1	<i>Gases con efecto invernadero y cambio climático</i>	5
3.2	<i>Reducción y remoción de GEI</i>	8
3.3	<i>Compensación de GEI</i>	9
3.4	<i>Carbono Neutralidad en Costa Rica</i>	9
3.5	<i>Cálculos para la Carbono Neutralidad</i>	11
3.6	<i>Sistemas de gestión ambiental</i>	13
4	MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1	<i>Definición del caso de estudio</i>	15
4.2	<i>Definición del alcance</i>	15
4.3	<i>Cuantificación del inventario de emisiones</i>	16
4.3.1	<i>Identificación de fuentes y sumideros</i>	16
4.3.2	<i>Selección de la metodología de cuantificación</i>	16
4.3.3	<i>Selección y recopilación de datos de la actividad</i>	16
4.3.4	<i>Selección de factores de emisión</i>	17
4.3.5	<i>Cálculo de emisiones y de GEI</i>	19
4.3.6	<i>Cálculo de la incertidumbre</i>	21
4.3.7	<i>Construcción del inventario de emisiones</i>	22
4.4	<i>Determinación de la compensación</i>	22
4.5	<i>Desarrollo del plan de gestión de reducciones</i>	23
4.6	<i>Documentación y cuantificación de las reducciones</i>	23
4.6.1	<i>Instalación de paneles solares en el Edificio de Rectoría</i>	23
4.6.2	<i>Compra y utilización de carros híbridos en la Unidad de Transportes</i>	24
4.7	<i>Elaboración del marco documental del sistema de gestión</i>	24
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
5.1	<i>Inventario de emisiones y remociones</i>	25
5.1.1	<i>Fuentes de emisión y remoción</i>	25
5.1.2	<i>Recopilación de datos de las fuentes de emisión</i>	26
5.1.2.1	<i>Datos de consumo de combustibles fósiles</i>	26
5.1.2.2	<i>Datos de recargas de refrigerantes</i>	33
5.1.2.3	<i>Datos de lubricantes</i>	35
5.1.2.4	<i>Datos de aplicación de agroquímicos</i>	36
5.1.2.5	<i>Datos de la generación de agua residual</i>	37

5.1.2.6	Datos de las recargas de extintores	38
5.1.2.7	Datos del consumo de energía eléctrica	39
5.1.2.8	Datos de la generación de residuos sólidos	39
5.1.2.9	Datos de viajes aéreos	41
5.1.3	Cálculo de las emisiones	42
5.1.3.1	Emisiones directas o de alcance I	43
5.1.3.2	Emisiones indirectas o de alcance II	46
5.1.3.3	Otras emisiones indirectas o de alcance III	46
5.1.3.4	Comparación de emisiones de GEI	48
5.1.3.5	Cálculo de incertidumbres de las emisiones	49
5.2	<i>Reducciones, compensación y cálculo de la carbono neutralidad</i>	51
5.2.1	Plan de gestión de las reducciones	51
5.2.2	Cuantificación de las reducciones del 2017	53
5.2.2.1	Reducciones en el consumo de combustibles fósiles	53
5.2.2.2	Reducciones en el consumo de energía eléctrica	54
5.2.2.3	Reducciones en la generación de residuos sólidos	54
5.2.3	Cálculo de compensaciones del 2017	55
5.2.4	Cálculo de la carbono neutralidad	56
5.3	<i>Gestión de la carbono neutralidad</i>	57
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7	REFERENCIAS	65
	APÉNDICES	69
	Apéndice 1. Inventario de flotilla vehicular	70
	Apéndice 2. Inventario de maquinaria	72
	Apéndice 3. Cantidad de extintores	74
	Apéndice 4. Plan de Gestión de las Reducciones	75
	Apéndice 5. Procedimiento para cuantificación de las emisiones debido al consumo eléctrico	80
	Apéndice 6. Registro de consumo de combustible en equipo especial del DAM	83
	ANEXOS	84
	Anexo 1: Informe de remociones de GEI	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Concentración de gases con efecto invernadero del año 0 a 2005. Fuente: IPCC, 2007	6
Figura 3.2. Distribución de emisiones y remociones de GEI expresadas en dióxido de carbono equivalente en Costa Rica para el 2012. Tomado de Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Meteorológico Nacional (2015)	7
Figura 5.3. Proceso de obtención de datos y evidencias del combustible de los vehículos institucionales	31
Figura 5.4. Consumo mensual de combustible según tipo	32
Figura 5.5. Aporte porcentual de cada alcance al inventario de gases con efecto invernadero	42
Figura 5.6. Contribución porcentual de cada actividad al inventario de GEI	43
Figura 5.7 Aporte porcentual de cada fuente perteneciente al alcance I	44
Figura 5.8. Distribución porcentual del aporte de las actividades consumidoras de combustibles en la generación de emisiones de dióxido de carbono equivalente de dicha fuente	45
Figura 5.9. Distribución porcentual de las fuentes del alcance III.	47
Figura 5.10. Diagrama de los componentes del Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad	58

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1. Factores de emisión usados para el cálculo de emisiones de GEI generadas ...	18
Cuadro 4.2. Potenciales de calentamiento por gas	19
Cuadro 5.3. Fuentes de emisión de gases con efecto invernadero para el ITCR, Sede Central y su respectiva clasificación.	25
Cuadro 5.4. Método de recopilación de datos para el consumo de combustibles fósiles.....	27
Cuadro 5.5. Consumo mensual de combustible por actividad	28
Cuadro 5.6. Información de recargas de refrigerantes.....	34
Cuadro 5.7. Consumo de lubricantes en la flotilla institucional.....	35
Cuadro 5.8. Cantidad de fertilizantes aplicados según tipo de producto.....	36
Cuadro 5.9. Parámetros de caudal y demanda química de oxígeno para el agua residual generada.....	37
Cuadro 5.10. Cantidad de dióxido de carbono recargado en extintores	38
Cuadro 5.11. Consumo eléctrico mensual	39
Cuadro 5.12. Cantidad mensual de viajes aéreos	41
Cuadro 5.13. Emisiones de dióxido de carbono equivalente por alcance	42
Cuadro 5.14. Emisiones de dióxido de carbono equivalente correspondientes al alcance I	44
Cuadro 5.15. Emisiones mensuales de dióxido de carbono equivalente debido al consumo de energía eléctrica.....	46
Cuadro 5.16. Emisiones mensuales correspondientes al alcance III	47
Cuadro 5.17. Emisiones de dióxido de carbono equivalente per cápita para la Sede Central del ITCR en distintos años	48
Cuadro 5.18. Emisiones de dióxido de carbono equivalente per cápita para distintas universidades	48
Cuadro 5.19. Dióxido de carbono removido por cobertura..	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5.20. Incertidumbre por cada actividad o fuente	50
Cuadro 5.21. Resumen del Plan de Gestión de Reducciones	52
Cuadro 5.22. Placas de los vehículos convencionales sustituidos por los vehículos híbridos	54
Cuadro 5.23. Datos para el cálculo de la compensación del 2017	55

Cuadro 5.24. Lista de procedimientos desarrollados en el 2017 como parte del Sistema de Gestión para la Carbono Neutralidad	59
Cuadro 5.25. Lista de registros implementados durante el 2017 como parte del Sistema de Gestión para la Carbono Neutralidad	60

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AA	Aspectos Ambientales
CER	Certified Emission Reduction
CH₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO_{2e}	Dióxido de carbono equivalente
DAM	Departamento de Administración de Mantenimiento
DCC	Dirección de Cambio Climático
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
GAM	Gran Área Metropolitana
GASEL	Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral
GEI	Gases con efecto invernadero
HFC	Hidrofluorocarbonos
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
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
PPCN	Programa País Carbono Neutral
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
VAD	Vicerrectoría de Administración
VER	Voluntary Emission Reduction
VIE	Vicerrectoría de Investigación y Extensión

RESUMEN

El Instituto Tecnológico de Costa Rica debido a su compromiso con el ambiente y queriendo alinearse a las metas del País en materia de cambio climático decide buscar la obtención de la certificación carbono neutral para el año 2017, empezando con su Sede Central. Debido a esto, se plantea el desarrollo e implementación del sistema de gestión de la carbono neutralidad siguiendo lo establecido por el Programa País y la Norma INTE B5:2016 Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad. El sistema comprende el desarrollo del inventario de emisiones y remociones de gases con efecto invernadero, el marco documental del sistema de gestión ambiental, el plan de gestión y cuantificación de las reducciones para el periodo en análisis. Se concluye que la estimación de emisiones es de 1301,15 toneladas de CO₂e, que mediante las remociones se capturó 214,21 toneladas de CO₂e y se redujo un total de 1,69 toneladas de CO₂e, las cuales al tratarse de la neutralización del año base no se toman en cuenta en la ecuación general de carbono neutralidad, por lo tanto, es necesario compensar 1087,34 toneladas de CO₂e que se traduce en una inversión de aproximadamente \$7610, para lograr así neutralizar las emisiones del año en estudio.

Palabras clave: Carbono neutral, Sistema de gestión ambiental, Inventario de gases con efecto invernadero, INTE B5:2016.

ABSTRACT

The Technological Institute of Costa Rica, due to its commitment to the environment and wanting to align itself with the country's goals, decides to seek the carbon neutral certification for 2017, starting with its Headquarters. Due to this, the development and implementation of the carbon neutrality management system is proposed, following the provisions of the Country Program and the Standard INTE B5: 2016 Standard for Demonstrating Carbon Neutrality, developing the inventory of emissions and removals of gases with greenhouse effect, the documentary framework of the environmental management system and the management plan of the reductions, as well as the quantification of these for the period under analysis. It is concluded that the estimate of emissions is 1301,15 tons of CO₂e, which by removals captured 214.21 tons of CO₂e and reduced a total of 1.69 tons of CO₂e therefore it is necessary to compensate 1087,34 tons CO₂e, thus neutralizing the year under study.

Key words: Neutral carbon, Environmental system management, Greenhouse gases inventory, INTE B5:2016.

1 INTRODUCCIÓN

El cambio en la concentración de gases con efecto invernadero (GEI) en la atmósfera altera significativamente el balance energético del sistema climático ocasionando lo que conocemos como cambio climático (IPCC, 2007). Este ha sido considerado como uno de los mayores desafíos que enfrenta la sociedad moderna, recibiendo cada vez más atención en todo el mundo, principalmente en la reducción de las emisiones de GEI y la adaptación al mismo (Meyer & Weigel, 2011).

Costa Rica, tomando en cuenta la ratificación de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el protocolo de Kyoto y que el país ha tenido un rol relevante en materia ambiental, oficializa el Programa País Carbono Neutralidad (PPCN) y establece que las organizaciones participantes deben realizar la huella de carbono con su respectiva verificación y declaración mediante la norma INTE B5:2016, además desarrollar compensaciones de dichas emisiones y registrarlas junto con las reducciones respectivas (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2012).

Tomando en cuenta lo anterior, el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) se suma a esta iniciativa, partiendo de que en su Plan Estratégico 2017-2021 se considera la Sostenibilidad como un eje transversal en el que hacer de la Universidad (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2017a) decide buscar la obtención de la certificación carbono neutral para su Sede Central, usando como año base el 2017.

Para el correcto cumplimiento de lo anterior se plantea el desarrollo e implementación de un sistema de gestión de la carbono neutralidad (SGCN) que a su vez se compone de toda la documentación referente para la construcción del inventario de emisiones y remociones de GEI, la gestión de reducciones y el cálculo de compensación de emisiones, con el fin de concluir la declaración de la carbono neutralidad bajo los requisitos expuestos por el PPCN. En cuanto al inventario de remociones, este se desarrolla con la intervención de expertos de la Institución, por lo que este proyecto solamente cumplió con acciones de coordinación del mismo y no se presenta como resultados de este trabajo, sin embargo, se toma en cuenta para el cálculo de compensación.

Este trabajo final de graduación pretende sentar las bases del SGCN, que permita la mejora continua y el correcto desempeño tanto del inventario de GEI como del cumplimiento de los

objetivos de reducción, posicionando de esta forma al ITCR como una Institución que responde a las metas del País y que cuenta con una responsabilidad ambiental sólida.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el sistema de gestión para la certificación carbono neutral del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central, usando como referencias las normas ISO 14064-1:2006 e INTE B5:2016.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el inventario de emisiones de gases con efecto invernadero del 2017 de la Universidad.
- Cuantificar las reducciones y calcular la compensación para la Universidad en el año del reporte.
- Desarrollar el marco documental (procedimientos, formatos, registros) del sistema de gestión de carbono neutralidad.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 GASES CON EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Los GEI como dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua, metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono y fluorocarbonos funcionan como reguladores naturales de la temperatura terrestre. La radiación del Sol entra a la Tierra y es absorbida por el ambiente de esta, luego este calor de la superficie irradia hasta la atmósfera donde es capturado por los GEI. En ausencia de estos gases, el calor volvería al espacio y la temperatura del planeta sería de -18°C aproximadamente, lo que haría imposible la existencia de los seres vivos (Dhillon et al., 2013).

Son considerados GEI directos el vapor de agua, el cual no recibe afectación en su concentración debido a las actividades humanas, CO_2 , CH_4 , N_2O y ozono mientras que el CO, fluorocarbonos, óxidos de sulfuro (SO_x), hidrocarburos y NO_x se conocen como GEI indirectos. Las principales fuentes de GEI son los procesos industriales, el uso de combustibles fósiles para la generación eléctrica, transporte, incendios forestales, actividades agrícolas, cambios en el uso de la tierra, entre otros. Todas las formas de quemar resultan en emisiones de CO_2 , las combustiones parciales también emiten ciertos gases como NO_x y CO los cuales tienen la capacidad de reaccionar con otros gases en la atmósfera para formar ozono (Gurjar, Ojha, Surampalli, Walvekar, & Tyagi, 2013).

En 1979 se desarrolló la primera Conferencia Mundial sobre el Clima, en la cual se expusieron las señales iniciales del aumento de GEI, su relación con las actividades antropogénicas y su principal consecuencia: el aumento de la temperatura de la atmósfera mundial. A mediados de la década de 1980, se crea el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático conocido como IPCC por sus siglas en inglés, el cual tiene como objetivo evaluar el conocimiento científico para la comprensión del aumento de la temperatura del planeta y conocer los factores que ocasionan el cambio climático, así como las consecuencias ambientales y socioeconómicas, para de esa forma establecer estrategias para mitigar sus efectos (Jara, 2010).

En cuanto a los niveles de CO_2 en la atmósfera, tuvieron variación desde la revolución industrial, pasando de 270 a 280 ppm, para el 2014 alcanzaba 390 ppm aproximadamente. El CH_4 , puede estar en la atmósfera de 9 a 15 años y es aproximadamente 20 veces más efectivo

en la captura del calor que el CO_2 , por lo que toma tanta importancia como GEI. Aproximadamente el 50% de las emisiones de CH_4 son de origen antropogénico debido a la obtención de combustibles fósiles, la producción de ganado, el cultivo de arroz, la quema de biomasa y el manejo de los residuos (Shepherd, 2011).

El cambio en la concentración de GEI en la atmósfera altera significativamente el balance energético del sistema climático ocasionando lo que conocemos como cambio climático (IPCC, 2007). El CO_2 aporta la mayor proporción de efecto invernadero debido a su alta concentración en la atmósfera, seguido del CH_4 y el N_2O (Gurjar et al., 2013). El cambio climático ha sido considerado como uno de los mayores desafíos que enfrenta la sociedad moderna, recibiendo cada vez más atención en todo el mundo, principalmente en la reducción de las emisiones de GEI y la adaptación al mismo (Meyer & Weigel, 2011). La importancia de este fenómeno se debe a que el alcance de afectación a la humanidad es muy extenso, ya que tiene implicaciones sobre el medio ambiente, los ecosistemas, las especies animales y la salud humana, esta última con resultados agudos o crónicos y que significan una alta carga de enfermedad y mortalidad, así como un aumento en los gastos de atención sanitaria y costos de la protección social (Useros, 2014). La Figura 1, se muestra el comportamiento de la concentración de los principales gases con efecto invernadero del año 0 al 2005.

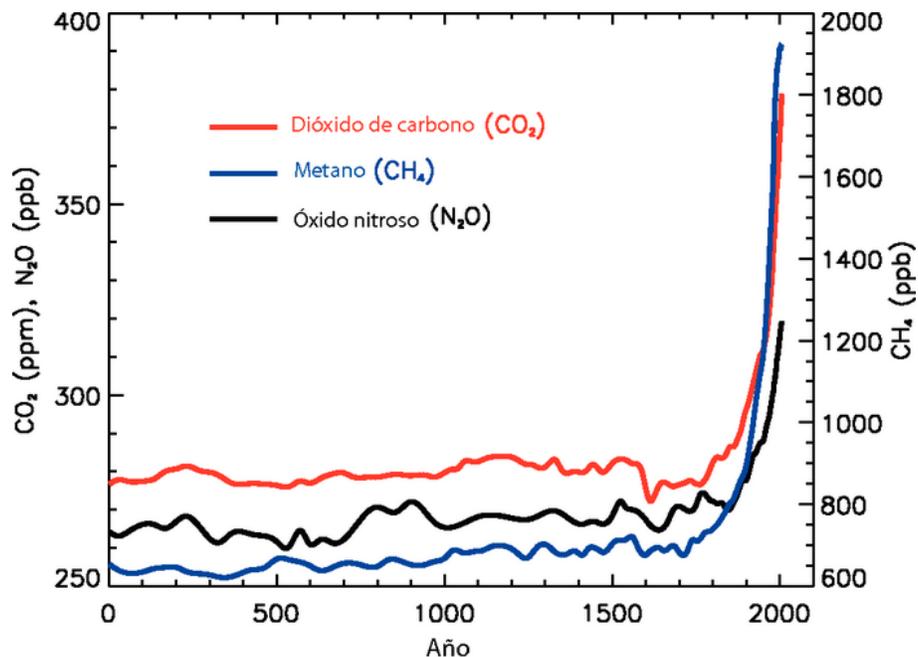


Figura 3.1. Concentración de gases con efecto invernadero del año 0 a 2005. Fuente: IPCC, 2007

Costa Rica tiene una densidad poblacional de 95 habitantes por kilómetro cuadrado, en los últimos 20 años la cantidad de pobladores ha aumentado en un 47% y un 65% del total se concentra en la GAM. Este rápido crecimiento es una de las causas del aumento en las emisiones de GEI. En el Inventario Nacional de Emisiones de GEI del 2012, se evaluaron las emisiones generadas por energía, procesos industriales y uso de productos, agricultura, residuos, silvicultura y otros usos de la tierra. En el sector energía, los mayores contribuyentes son el transporte y la industria. Por su parte la producción de cemento representa gran parte de las emisiones correspondientes a los procesos industriales y uso de productos. En total, las emisiones de CO₂e nacionales en el 2012 corresponden a 11,25 millones de toneladas, lo que se traduce en 2,41 toneladas de CO₂ equivalente per cápita (Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Meteorológico Nacional, 2015). En la Figura 2, se muestran los principales resultados del inventario de emisiones y remociones de GEI en cuestión.

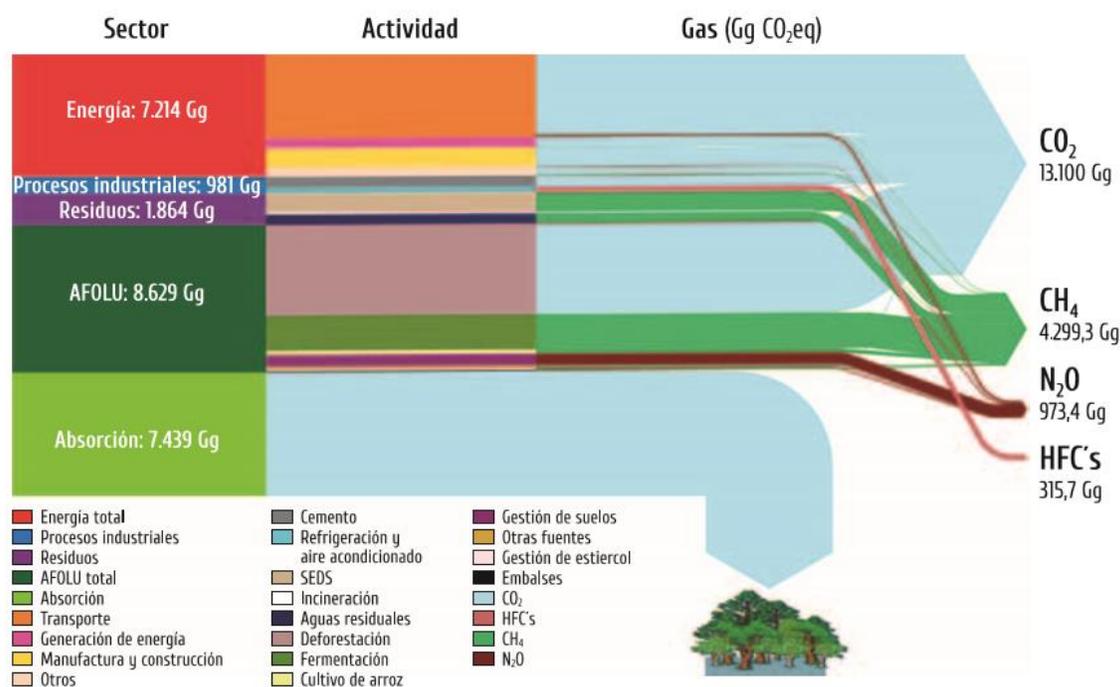


Figura 3.2. Distribución de emisiones y remociones de GEI expresadas en dióxido de carbono equivalente en Costa Rica para el 2012. Tomado de Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Meteorológico Nacional (2015)

Específicamente en las universidades de países en desarrollo existen pocos estudios sobre las emisiones de GEI, sin embargo, se conoce que la huella de carbono de estas puede ser menor que las de países desarrollados debido a que las segundas tienen condiciones climáticas diferentes que desencadenan un mayor consumo de energía. (Vásquez, Iriarte, Almeida, & Villalobos, 2015).

En Costa Rica, el ITCR realiza su primer inventario de GEI en el 2010, el cual se ha convertido en una herramienta para la toma de decisiones. Para el 2013 se emitió 1058 toneladas de CO₂e en la Sede Central. Se determinó que un 80% de las emisiones de GEI totales se deben a los viajes aéreos, fuentes móviles y consumo de electricidad (Rodríguez, Salazar, & Venegas, 2015). Por su parte la Universidad Nacional de Costa Rica, en el 2014 reportó un total de 3568 toneladas de CO₂e con un indicador per cápita de 0.143 toneladas de CO₂e (Chavarría, Molina, Gamboa, & Rodríguez, 2016).

3.2 REDUCCIÓN Y REMOCIÓN DE GEI

Sin importar la escala geográfica, existen dos maneras, íntimamente relacionadas, de responder ante el cambio climático. Una de ellas es tratar de limitar los efectos abordando la causa, es decir, reduciendo las emisiones de GEI, la otra forma de reaccionar ante este fenómeno es mitigando sus efectos, mediante técnicas e instrumentos que minimicen su impacto en la humanidad (Ciumasu, Costica, Secu, Gurjar, & Ojha, 2013).

Reducir las emisiones de GEI es posible mediante una mejora en la eficiencia energética y la introducción de cambios que permitan aumentar la demanda de tecnologías limpias para el sector de energía y transporte. Además, es importante tomar en cuenta que el sector de los residuos sólidos tiene un importante papel en la reducción de emisiones de GEI (J. Rojas, 2014). Sin embargo, la disminución de emisiones de GEI está ligada a múltiples factores naturales, socioeconómicos, tecnológicos y políticos por lo que es necesario que sean complementadas con mecanismos de captura de CO₂ (Vargas, Mena, & Yáñez, 2004).

La remoción o captura de CO₂ en forma natural se da mediante las plantas, las cuales absorben CO₂ de la atmósfera mediante el proceso de fotosíntesis. En este proceso usan energía del Sol, CO₂ y agua para producir materiales orgánicos vegetales. Es importante que en la respiración las plantas emiten dicho compuesto por lo que es durante las etapas de crecimiento que son absorbentes netos de este GEI. Debido a este fenómeno solamente los

bosques de rápido crecimiento son capaces de capturar cantidades significativas de CO₂, un bosque maduro produce este gas mediante la respiración y la descomposición de plantas muertas (Gevorkian, 2010).

3.3 COMPENSACIÓN DE GEI

Es imposible alcanzar la carbono neutralidad únicamente implementando mejoras internas para la reducción de GEI, ya que toda actividad genera impacto ambiental. Debido a esto surge la compensación voluntaria de emisiones como estrategia de gestión de estas. Las organizaciones pueden optar por el apoyo a la protección de bosques, cambios tecnológicos en empresas y/o generación de electricidad con fuentes renovables (P. Rojas, 2011).

Según (Gevorkian, 2010) el concepto de créditos de carbono se desarrolló debido a la necesidad de mitigar y controlar las emisiones que afectan el clima, estos tienen como objetivo proporcionar un valor monetario tangible para las emisiones de CO₂, lo que crea incentivos para productores y consumidores. Actualmente instituciones financieras como bancos y sociedades de gestión de fondos de reforestación venden estos créditos a clientes comerciales e individuales que desean reducir y compensar su huella de carbono.

En Costa Rica, el PPCN permite mecanismos de compensación como Certified Emission Reduction (CER), Voluntary Emission Reduction (VER): Golden Standard, Voluntary Carbon Standard y las Unidades Costarricenses de Compensación (UCC), para la utilización de los primeros es necesario cumplir con los criterios establecidos por la Dirección de Cambio Climático (DCC), en cuanto al último mecanismo este es oficializado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Las UCC han sido de los métodos más utilizados para compensación en el país ya que cuenta con mayor trayectoria en el PPCN y son completamente reconocidas por la DCC lo que brinda seguridad de la aprobación de la compensación (Dirección de Cambio Climático, MINAE, 2017).

3.4 CARBONO NEUTRALIDAD EN COSTA RICA

En la búsqueda de la reducción de emisiones de GEI, se están desarrollando e implementando iniciativas internacionales, regionales, nacionales y locales para limitar las emisiones de GEI a la atmósfera. Dichas iniciativas se basan en la cuantificación, seguimiento, informe y verificación de las emisiones y/o remociones de GEI (INTECO, 2006). Tal es el caso de la

carbono neutralidad que tiene como objetivo que el total de emisiones de las actividades de la organización sean iguales a cero (INTECO, 2016). Para estabilizar los niveles de concentración de CO₂ en la atmósfera y avanzar hacia la carbono neutralidad la tasa de emisiones de GEI antropogénicas necesita ser controlada y gestionada de modo que no supere la tasa de secuestro de carbono (Mathur & Awasthi, 2016).

Costa Rica, tomando en cuenta la ratificación de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el protocolo de Kyoto y que el país ha tenido un rol relevante en materia ambiental, oficializa el PPCN y establece que las organizaciones participantes deben realizar el inventario de gases de efecto invernadero con su respectiva verificación y declaración mediante la norma INTE B5:2016, desarrollar compensaciones de dichas emisiones y registrarlas junto con las reducciones respectivas (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2012).

En el 2017 se lanzó una segunda versión del programa que tiene como objetivos sensibilizar a las organizaciones sobre el cambio climático y la descarbonización de la economía del país, así como potenciar las acciones climáticas de las mismas por medio de la gestión de las emisiones de GEI, obteniendo así información de inventarios de GEI y mejora en la eficiencia de las organizaciones (Ministerio de Ambiente y Energía, 2017)

Las medidas de mitigación que Costa Rica ha puesto en marcha se pueden categorizar como ambiciosas, ya que buscan la carbono neutralidad a nivel nacional, con este objetivo el país ha emprendido acciones como el establecimiento del Mercado Doméstico de Carbono, la marca C-Neutral, las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación en el sector agropecuario, la estrategia Nacional de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y el Plan Nacional de Energía (Ministerio de Ambiente y Energía & Instituto Meteorológico Nacional, 2015).

En Costa Rica, se cuenta con una Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad, la cual establece los requisitos que debe cumplir una organización que tenga como objetivo ser cero emisiones de CO₂e. Dicha norma tiene como referencias las normas ISO 14064-1, ISO 14064-2, ISO 14064-3, ISO 14065 e ISO 14069 (INTECO, 2016). En cuanto a las formas de compensación, mediante el Decreto 37926 – MINAE es oficial el Mercado Doméstico de Carbono y las Unidades Nacionales de Compensación. El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) está autorizado a vender créditos de carbono (FONAFIFO, 2017)

3.5 CÁLCULOS PARA LA CARBONO NEUTRALIDAD

El protocolo de Gases con Efecto Invernadero, más conocido como GHG Protocol, por sus siglas en inglés, establece la separación de las emisiones en tres alcances principales. El alcance uno se refiere a las emisiones directas, que son aquellas provenientes de fuentes propias o controladas por la organización. El alcance dos comprende las emisiones indirectas, principalmente el consumo o compra de electricidad de la organización. Por su parte, el alcance tres abarca otras emisiones indirectas, las cuales corresponden a emisiones resultantes de actividades de la organización pero que sus fuentes no pertenecen ni son controladas por la misma. La cuantificación del alcance tres es de carácter voluntario (World Business Council for Sustainable Development & World Resources Institute, 2004).

Para determinar las emisiones de GEI relacionadas a cada alcance pueden desarrollarse tres pasos principales, conocer el consumo en cada actividad, seleccionar el factor de emisión asociado y estimar la cantidad de CO₂e multiplicando los consumos por el factor correspondiente (Vásquez et al., 2015). En Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) es la entidad que elabora los inventarios nacionales de GEI y avala los factores de emisión para cada fuente en el país, los GEI que se toman en cuenta en el territorio nacional son los incluidos en el Protocolo de Kyoto: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y el SF₆ y los establecidos en el Protocolo de Montreal (IMN, 2017). Es importante tomar en cuenta el Potencial de Calentamiento Global (PCG), el cual es un índice con base en las propiedades radiactivas de una unidad de masa de un GEI bien mezclado en la atmósfera actual sobre un tiempo dado de horizonte, relativo al CO₂ (INTECO, 2016).

Según (INTECO, 2016) la carbono neutralidad se define mediante la siguiente fórmula:

$$\sum E - \sum R - \sum C = 0$$

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.

En cuanto a la evaluación de la incertidumbre para 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. Para la metodología del cálculo de la incertidumbre se puede aplicar las siguientes ecuaciones (INTECO, 2016):

$$U_i = \sqrt{EFu^2 + ADu^2}$$

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.

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

Donde:

$U_{combinada}$: Es el 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.

Para realizar la declaración de carbono neutralidad es necesario preparar un informe que incluya como mínimo una descripción de la organización con el objetivo y el alcance, así como los límites físicos, organizacionales y operativos, el inventario de GEI, los criterios de

decisión y la descripción de los procesos. Se debe explicar además las razones de la exclusión de la cuantificación de cualquier fuente de emisión o remoción, el periodo al que corresponde el informe, las emisiones directas, indirectas y otras indirectas de GEI, cuantificando por separado cada gas en toneladas de CO₂ equivalente, entre otros requisitos que permitan comunicar los resultados del proceso (INTECO, 2016).

3.6 SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) se utiliza para controlar el impacto de una organización en el medio ambiente. Estos sistemas se implementan para mantener el cumplimiento de la legislación ambiental, reducir costos, disminuir riesgos, capacitar a los colaboradores, desarrollar indicadores ambientales y mejorar el desempeño en esta área. Consiste en políticas, objetivos, sistemas de información, listas de tareas, recolección y organización de datos, planes de emergencia, auditorías, requisitos reglamentarios e informes (Ilinitich, Soderstrom, & E. Thomas, 1998). Proporciona métodos sistemáticos de gestión de aspectos ambientales en un proceso de revisión continua que asegura que las nuevas ideas e innovaciones sea mejoradas (Schmidt & Osebold, 2017).

Según (Schmidt & Osebold, 2017) los SGA tienen algunos factores que benefician a la organización como el incremento de la productividad debido a la mejora de procesos, aumento de la competitividad, mejora de la cooperación por parte de las autoridades, mejoras en la calidad, evaluación continua de la protección ambiental corporativa, solución a problemas ambientales, cumplimiento de la legislación y el posicionamiento de la imagen ambiental de la organización.

Sin embargo, estos sistemas también presentan barreras como lo complejo del proceso de documentación ya que se da un aumento de la carga de trabajo en esta área, el aumento en los costos de gestión y operación, dificultad al coordinar el desempeño ambiental con subcontratistas o proveedores, falta de personal capacitado y con experiencia, deficiencia de consultores que ayuden a introducir los SGA, carencia de presión gubernamental, insuficiencia de compromiso de la dirección, cambio de la estructura y políticas de la organización y grupos de trabajo débiles con poco apoyo (Schmidt & Osebold, 2017).

Una parte de un SGA vendría a ser la gestión de la carbono neutralidad, en la cual la organización debe desarrollar, aplicar y documentar un procedimiento para el recálculo de

su año base o inventario de GEI posteriores, que le permita considerar cambios en los límites operativos, propiedad y control de las fuentes o sumideros de GEI. Además se deben mantener procedimientos de gestión de la información que aseguren la coherencia con el uso futuro del inventario de GEI y revisiones rutinarias para aseverar la exactitud y cobertura total del mismo, permitiendo también identificar y corregir los errores y las omisiones (INTECO, 2016).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

Como se menciona en el apartado 3.4 de la Revisión de literatura, Costa Rica cuenta con una Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad, en la cual se basa la metodología de este trabajo final de graduación. Es importante mencionar que no se profundiza en cuanto al cálculo de las remociones de GEI, ya que, aunque este dato es necesario para el cálculo de la carbono neutralidad, no se contempla dentro del alcance de este trabajo final de graduación. En el Anexo 1 se presenta el informe de remociones realizado por dos estudiantes y un profesor de Ingeniería forestal.

4.1 DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Este proyecto final de graduación se desarrolló en el ITCR, específicamente en su Sede Central, la cual se ubica en la provincia de Cartago, cantón Cartago, distritos Oriental y Dulce Nombre.

El ITCR, es una institución nacional autónoma de educación superior universitaria, la cual tiene como funciones principales, la docencia, investigación y extensión de la tecnología y la ciencia para el desarrollo del país. El desempeño ambiental de esta Institución ha sido sobresaliente, cuenta con galardones del PBAE en las categorías de Cambios Climático y Centros Educativos (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2017b), además de obtener la más alta calificación otorgada por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en su PGAI (Mora, 2017).

Con el objetivo de mantener la mejora continua, mitigar y reducir el impacto de las emisiones de GEI, el ITCR busca convertirse en una Institución carbono neutral. Debido a esto, el presente trabajo se basa en el desarrollo del SGCN, contando principalmente con el apoyo de la Vicerrectoría de Administración (VAD) y los departamentos involucrados en el control de las fuentes de emisión.

4.2 DEFINICIÓN DEL ALCANCE

Debido a la complejidad de la Institución, la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL) en conjunto con la VAD, estableció que el SGCN aplicará únicamente para la Sede Central. Teniendo como límite organizacional el de enfoque de

control operacional, tal como lo establece el PPCN. Además, como límites operativos se determinó que se tomarán en cuenta las emisiones directas, indirectas y otras indirectas, de estas últimas se seleccionó solamente las debidas a la generación de residuos sólidos y los viajes aéreos.

4.3 CUANTIFICACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES

4.3.1 Identificación de fuentes y sumideros

La Institución cuenta con un Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAI), el cual tiene caracterizados los aspectos ambientales (AA) de la operación de la Universidad. Por lo que para la identificación de fuentes y sumideros se seleccionaron los AA que generan emisiones de GEI, respetando el alcance definido. Algunas actividades de dichas fuentes no eran controladas con rigurosidad, para lo cual, en conjunto con la Regente Ambiental, se definieron controles para su correcto seguimiento.

En cuanto a las remociones, se consultó a un experto de la escuela de Ingeniería forestal, del ITCR.

4.3.2 Selección de la metodología de cuantificación

La metodología utilizada en la cuantificación de emisiones y remociones es la referenciada en la Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad, la cual está basada en la ISO-14061-1 que a su vez se fundamenta en el GHG Protocol. De manera general se utiliza como metodología de cálculo la aplicación de factores de emisión documentados o método 1. En cuanto a los viajes aéreos se utilizó la calculadora de FONAFIFO para la determinación de las emisiones correspondientes. Adicionalmente para las fuentes de remoción se utiliza la metodología propuesta en la norma INTE-DN-03:2016 y el Manual de Buenas Prácticas para Usos del Suelo, Cambios del Uso del Suelo y Forestal del IPCC.

4.3.3 Selección y recopilación de datos de la actividad

Para la selección y recopilación de datos de la actividad, se elaboró un listado de los departamentos involucrados en las fuentes de emisión y se identificó el puesto crítico de cada una, seguido de esto, para la mayoría se definieron registros para la obtención de la

información, estos fueron elaborados tomando en cuenta la forma más fiable y viable de su utilización por parte de los encargados. Los datos de consumo de combustible en la flota vehicular institucional se recopilaron mediante el uso del Software Institucional. Para el cálculo del consumo de lubricantes en motores de dos tiempos del Departamento de Administración de Mantenimiento (DAM) se usa una relación de 0,12 litros de lubricantes por cada 3,79 litros de combustible aplicado a este tipo de maquinaria.

4.3.4 Selección de factores de emisión

Para las fuentes de consumo eléctrico, combustible, refrigerantes, extintores, agua residual, lubricantes en vehículos y residuos sólidos no valorizables se utilizaron los factores de emisión propuestos por el IMN. En el caso de agroquímicos, y lubricantes en motores de dos tiempos se usaron los factores de emisión recomendados por el IPCC. Las emisiones generadas por los viajes aéreos, no se calcularon mediante la utilización de un factor de emisión como tal, sino que se aproximaron mediante la calculadora de emisiones de la FONAFIFO. En el caso del factor de emisión del acetileno, este se calculó mediante un balance de masas siguiendo la siguiente ecuación:

$$1 \text{ kg } C_2H_2 * \frac{2 \text{ mol } C_2H_2}{2 * 26 \text{ kg } C_2H_2} * \frac{4 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } C_2H_2} * \frac{44 \text{ kg } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 3.38 \text{ kg } CO_2$$

En los cuadros 1 y 2 se desglosan los factores de emisión empleados para cada fuente y los potenciales de calentamiento de cada gas respectivamente.

Cuadro 4.1. Factores de emisión usados para el cálculo de emisiones de GEI generadas. Tomado de IMN (2017) y IPCC (2006)

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)
Electricidad (kWh)	0,0557	No aplica	No aplica
Flotilla vehicular (Litros Diesel)	2,613	0,000149	0,000154
Flotilla vehicular (L Gasolina)	2,231	0,000907	0,000283
Lubricantes flotilla vehicular (L Lubricante)	0,5101	No aplica	No aplica
Generación eléctrica (L Diesel)	2,613	0,000122	0,00002442
Maquinaria (L Gasolina)	2,231	0,000346	0,00002211
Maquinaria (L Diésel)	2,613	0,000382	0,00002442
Gas Licuado de Petróleo (L LPG)	1,611	0,000139	0,00002769
Calderas (L Diésel)	2,613	0,000382	0,000002442
Lubricantes (L lubricante)	0,5101	No aplica	No aplica
Lubricantes en motor de dos tiempos (L lubricante)	2,94666	0,000402	0,00002412
Residuos Sólidos (Kg residuos sólidos)	No aplica	0,0581	No aplica
Extintores (kg CO ₂)	1	No aplica	No aplica
Agua residual (kg DQO)	No aplica	0,05	No aplica
Agroquímicos (Nitrógeno por aportes) (kg de nitrógeno)	No aplica	No aplica	0,01
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
Agroquímicos (Urea) (kg urea)	0,20	No aplica	No aplica
Acetileno	3,38	No aplica	No aplica
Dióxido de Carbono	1	No aplica	No aplica

Cuadro 4.2. Potenciales de calentamiento por gas. Tomado de GHG Protocol (2014)

Gas	Potencial de calentamiento
CO ₂	1
CH ₄	21
NO ₂	310
R410	1725
R507	3300
R22	1500

4.3.5 Cálculo de emisiones y de GEI

Según (World Business Council for Sustainable Development & World Resources Institute, 2004) el GHG Protocol establece la siguiente ecuación para el cálculo de la emisión de GEI.

$$Emisión = CG * FE * PCG$$

Donde:

CG: Consumo o generación de la fuente de emisión

FE: Factor de emisión

PCG: Potencial de calentamiento global

Existen algunas excepciones a la igualdad mencionada anteriormente, tal es el caso de agua residual, agroquímicos y lubricantes en motores de dos tiempos, para estos se establecen las siguientes ecuaciones (IPCC, 2006).

Agua residual

$$CO_2e = FE_{CH_4} * \frac{kg\ DBO}{L} * Q * 365 * PC_{CH_4} * \frac{1}{1000}$$

Donde:

CO₂e = CO₂ equivalente $\left(\frac{Ton}{año}\right)$

FE_{CH₄} = Factor de emisión de CH₄ de generación de agua residual

$\frac{kg\ DBO}{L}$ = Máximo anual de la DBO a la entrada de la PTAR

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

Agroquímicos

Emisiones Directas

$$N_2O_{\text{aportes}} = N * F_{\text{emisión}} * \frac{44}{28}$$

Donde:

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

$$F_{\text{emisión}} = \text{Factor de emisión de } N_2O \text{ de aportes de N} \left(\frac{\text{kgN}_2O-N}{\text{kgN}} \right)$$

$$N_2O_{\text{aportes}} = \text{Emisiones de } N_2O \text{ producido por aportes de N} (\text{kgN}_2O)$$

Emisiones Indirectas: Estas se deben a la volatilización y a la lixiviación.

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

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

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

Donde:

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

$$N_2O_{\text{volat}} = \text{Emisiones de } N_2O \text{ por volatilización} (\text{kgN}_2O)$$

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

$$FV_{\text{emisión}} = \text{Factor de emisión de } N_2O \text{ de volatilización} \left(\frac{\text{kgN}_2O-N}{\text{kgN volatilizado}} \right)$$

$$N_2O_{\text{lixiv}} = \text{Emisiones de } N_2O \text{ por lixiv} (\text{kgN}_2O)$$

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

$$FL_{\text{emisión}} = \text{Factor de emisión de } N_2O \text{ de lixiviación} \left(\frac{\text{kgN}_2O-N}{\text{kgN lixiviado}} \right)$$

Dióxido de carbono equivalente

$$CO_{2eq} = (N_2O_{\text{aportes}} + N_2O_{\text{volat}} + N_2O_{\text{lixiv}}) * PC_{N_2O} * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$$CO_{2eq} = \text{Dióxido de carbono equivalente} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)$$

$$PC_{N_2O} = \text{Potencial de calentamiento global}$$

4.3.6 Cálculo de la incertidumbre

La incertidumbre asociada al cálculo del inventario de emisiones de GEI se realizó usando la metodología del IPCC 2006 en el Volumen I, Capítulo 3, específicamente el Cuadro 3.3 denominado: Cuadro para generación de informes general acerca de la incertidumbre. Lo anterior mediante las hojas de cálculo de Microsoft Excel.

En cuanto a la incertidumbre asociada al factor se obtuvo de lo publicado por el IMN en el documento de factores de emisión para el 2017 y el error asociado a la actividad se solicitó a los proveedores de los servicios de cada actividad según correspondía.

4.3.7 Construcción del inventario de emisiones

El inventario de emisiones se construyó usando la aplicación de hojas de cálculo Microsoft Excel. Incluyendo para cada fuente de emisión de GEI identificada:

- Los factores de emisión necesarios para el cálculo,
- La clasificación de las fuentes según su alcance y
- Los totales de las emisiones para estas.

4.4 DETERMINACIÓN DE LA COMPENSACIÓN

La compensación se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$C = E - R - Re$$

Donde:

$$C = \text{Compensación de las emisiones de GEI} \left(\frac{\text{Ton CO}_{2eq}}{\text{año}} \right)$$

$$E = \text{Emisiones de GEI} \left(\frac{\text{Ton CO}_{2eq}}{\text{año}} \right)$$

$$R = \text{Reducciones de GEI} \left(\frac{\text{Ton CO}_{2eq}}{\text{año}} \right)$$

$$Re = \text{Remociones de GEI} \left(\frac{\text{Ton CO}_{2eq}}{\text{año}} \right)$$

Las remociones de GEI son tomadas de los resultados presentados en el Anexo 1 el cual consiste en el informe del inventario de estas. Es importante recordar que, al tratarse de una neutralización del año en estudio, el valor de las reducciones es cero, ya que las mismas se encuentran implícitas en el valor de emisiones. Además, se realizó el cálculo de la inversión económica que dichas compensaciones representarían, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo de } C = C * \text{Costo por unidad de compensación}$$

Donde:

$$C = \text{Compensación de las emisiones de GEI} \left(\frac{\text{Ton CO}_{2eq}}{\text{año}} \right)$$

4.5 DESARROLLO DEL PLAN DE GESTIÓN DE REDUCCIONES

El desarrollo del plan de gestión de reducciones se hizo conforme a lo establecido por la Norma para demostrar la Carbono Neutralidad y se definió un plazo de 5 años para su ejecución. Este plan se dividió por fuente de emisión y se tomaron en cuenta las siguientes secciones: objetivo, meta, medidas, actividades, responsable, metodología de cuantificación, indicadores de seguimiento, métodos de control, presupuesto, supuestos, estimación de la disminución en toneladas de dióxido de carbono equivalente y el cumplimiento.

El plan de reducciones se realizó en consenso con la Regente Ambiental de la institución, tomando en cuenta los proyectos planificados por GASEL. Además, este fue aprobado por el Vicerrector de Administración, esto con el fin de asegurar la factibilidad presupuestaria de las medidas.

4.6 DOCUMENTACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS REDUCCIONES

La metodología de cuantificación de las reducciones se desarrolló siguiendo los requisitos que menciona la Norma INTE B5:2016 Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad. La documentación se realizó en el mismo documento del plan de gestión de reducciones, se designó una hoja de cálculo para cada proyecto de reducción y se incluyeron los siguientes aspectos: metodología de cuantificación, medios reales para lograr las reducciones, justificación de la selección de la metodología y medios elegidos, supuestos, cálculos realizados y periodo de medición. En cuanto a la evidencia de dichas reducciones, se archivaron en la carpeta de evidencias del SGCN.

A continuación, se presenta la metodología específica usada para los proyectos de reducción cuantificados en el 2017

4.6.1 Instalación de paneles solares en el Edificio de Rectoría

Se realizó lectura a los medidores de la energía producida por los paneles solares instalados en el Edificio de Rectoría. Con esto se obtuvo la cantidad de producción eléctrica en el año y las reducciones en dióxido de carbono equivalente se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$CO_2eq = \frac{Producción(kWh)}{año} * FE_{CO_2} * PC_{CO_2} * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$$CO_2eq = CO_2 \text{ equivalente reducido } \left(\frac{Ton}{año} \right)$$

$$FE_{CO_2} = \text{Factor de emisión de } CO_2 \text{ del consumo eléctrico } \left(\frac{kgCO_2eq}{kWh} \right)$$

$$PC_{CO_2} = \text{Potencial de calentamiento global}$$

4.6.2 Compra y utilización de carros híbridos en la Unidad de Transportes

Para el cálculo de las reducciones de GEI debido al uso de cuatro carros híbridos en la Unidad de Transportes, se registró el kilometraje de dichos vehículos y se calculó las emisiones de estos, usando como indicador los gramos de dióxido de carbono por kilómetro, además se compararon estas emisiones con las que se hubiesen generado con el vehículo que se reemplazó en la flotilla, dichos indicadores se obtuvieron del sitio web Fuel Economy. La resta de las emisiones que se habrían producido con los vehículos convencionales y las emitidas por los vehículos híbridos representa la reducción correspondiente a dicha medida.

4.7 ELABORACIÓN DEL MARCO DOCUMENTAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN

Para el desarrollo del marco documental del SGCN, se confeccionó un manual, procedimientos para el control y seguimiento para cada fuente de emisión. Además, se elaboraron registros y sus respectivos formatos para el control de la información, tanto estos como los procedimientos se sintetizaron en listas maestras para una identificación más eficiente de los mismos.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección muestra los principales resultados de lo desarrollado en el trabajo final de graduación, ampliando sobre el método a seguir y argumentando sobre el comportamiento de las emisiones entre otros aspectos fundamentales del SGCN.

5.1 INVENTARIO DE EMISIONES Y REMOCIONES

5.1.1 Fuentes de emisión y remoción

Para el ITCR, Sede Central se identificaron las siguientes fuentes de emisión, según su alcance. Cabe mencionar que para el alcance tres existen más fuentes de emisión, sin embargo, por el impacto y la facilidad de recopilación de datos y evidencias, se cuantifica solamente las mencionadas en el Cuadro 3.

Las fuentes de emisión de GEI responden a actividades académicas e institucionales, debido a esto presentan características específicas tales como la fluctuación dependiendo del periodo lectivo y el constante aumento debido al crecimiento de la Universidad.

Cuadro 5.3. Fuentes de emisión de gases con efecto invernadero para el ITCR, Sede Central y su respectiva clasificación.

Alcance	Fuente
Alcance I (emisiones directas)	Combustibles fósiles
	Refrigerantes
	Lubricantes
	Agroquímicos
	Generación de agua residual
Extintores	
Alcance II (emisiones indirectas)	Electricidad
Alcance III (otras emisiones indirectas)	Residuos sólidos
	Viajes aéreos

Debido a la ubicación de la Sede Central y capacidad para generar remociones de dióxido de carbono, se cuantifican las fuentes de remoción, las cuales, clasificándolas por tipo de cobertura son: bosque natural, plantaciones forestales, cortinas rompe vientos y árboles

dispersos. En el Anexo 1 se encuentra el informe referente a esta sección en el que se amplía sobre la clasificación de estas coberturas.

5.1.2 Recopilación de datos de las fuentes de emisión

La recopilación de datos es uno de los procesos más complicados de la carbono neutralidad, esto debido a que dicha información debe ser trazable desde el dato de emisiones de CO₂e hasta la evidencia. Por lo que un SGCN debe ser lo suficientemente robusto para detectar la información que se registra y la que no se registra además de tener la capacidad de detectar y corregir la situación por la que no se está controlando la totalidad de los datos. Esto con el fin de contar con un inventario de emisiones y remociones lo más exacto posible. A continuación, se detalla la forma de recolección de datos de cada fuente.

5.1.2.1 Datos de consumo de combustibles fósiles

El consumo de combustibles fósiles está compuesto por 7 actividades, por lo que es necesario conocer a profundidad los procesos que lo generan con el fin de propiciar una correcta recopilación de los datos. En el Cuadro 5.4 se presentan cada una de esas actividades, el departamento encargado y el método correspondiente para obtener la información del consumo de combustibles fósiles. Por su parte el Cuadro 5.5 muestra una síntesis de la información correspondiente a esta fuente de emisión con los consumos de combustible mensuales de cada actividad, debajo de este se describe el comportamiento de cada uno.

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

Actividad	Departamento / Escuela	Método de recopilación de datos
Flotilla institucional	Unidad de Transportes	Software Institucional de Registro de Combustible
	Unidad de Seguridad y Vigilancia	
	Unidad de Conserjería	
	Taller de Publicaciones	
	Editorial Tecnológica	
	Centro de Investigación en Biotecnología	
	Centro de Investigación e Innovación Forestal	
	Centro de Investigación en Protección Ambiental	
	Centro de Investigación en Vivienda y Construcción	
	Centro de Investigación en Gestión Agrícola	
Departamento de Administración de Mantenimiento		
Plantas de emergencia	Departamento de Administración de Mantenimiento	Registro Manual
Calderas	Ingeniería en Mantenimiento Industrial	
	Ingeniería en Agronegocios	
Maquinaria – equipo especial	Departamento de Administración de Mantenimiento	
	Escuela de Ingeniería forestal	
	Escuela de Ingeniería Agrícola	
Gas Licuado de Petróleo	Comedor Institucional	
	Laboratorios docentes	
Acetileno	Departamento de Administración de Mantenimiento	Facturas de compra
	Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial	
	Escuela de Ingeniería en Materiales	
Dióxido de carbono	Departamento de Administración de Mantenimiento	Facturas de compra
	Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial	
	Escuela de Ingeniería en Materiales	

Cuadro 5.5. Consumo mensual de combustible por actividad

Actividad		Plantas Generadoras	Calderas	Flotilla Vehicular		Maquinaria		Gas LP (Litros)	Acetileno (kg)	Dióxido de carbono (kg)
				Gasolina (L)	Diésel (L)	Gasolina (L)	Diésel (L)			
Tipo de combustible		Diésel (L)	Diésel (L)	Gasolina (L)	Diésel (L)	Gasolina (L)	Diésel (L)			
Mes	Enero	0,00	0,00	644,14	3.098,03	90,09	0,00	0,00	0	10
	Febrero	0,00	0,00	1.449,05	7.495,62	217,75	414,93	1696,80	12	0
	Marzo	208,20	0,00	1.929,12	10.695,11	315,94	535,03	2728,68	7,5	0
	Abril	264,98	136,27	1.227,81	8.443,34	388,62	430,75	1697,00	30,5	75
	Mayo	0,00	131,73	1.353,05	10.539,58	350,50	684,28	2679,40	19	0
	Junio	5.785,71	66,43	1.590,69	9.189,41	448,58	524,23	1557,60	0	0
	Julio	0,00	0,00	822,22	3.614,88	286,65	132,49	422,40	0	0
	Agosto	0,00	0,00	1.749,69	9.998,99	481,99	514,72	4640,50	0	0
	Septiembre	0,00	199,87	1.213,92	9.275,93	216,24	424,41	6702,60	0	10
	Octubre	0,00	0,00	880,96	7.560,79	164,62	302,83	7687,80	0	0
	Noviembre	0,00	0,00	1.400,12	8.700,56	270,77	258,51	5799,30	42	0
	Diciembre	0,00	0,00	665,26	3.692,54	12,00	42,26	3294,10	0	0
Total		6.258,88	534,31	14.925,05	92.298,81	3.243,76	4.264,44	38.906,18	111,00	95,00

Plantas Generadoras

En el ITCR la producción de electricidad, usando combustibles fósiles, se da únicamente en las plantas de emergencia que son utilizadas durante cortes de electricidad, además a estos equipos se les realiza un mantenimiento preventivo que consta de arranques periódicos. En el Cuadro 5.5 se muestra que el consumo de combustible debido a esta actividad presenta un comportamiento fluctuante, esto se debe a que las interrupciones de fluido eléctrico son escasas, por lo que el abastecimiento significativo de estos equipos se da una vez al año, el DAM es el encargado de mantener con diésel suficiente dichas plantas por lo que también controla el registro manual de consumo y facilita la evidencia de la compra de este.

Calderas

La Institución se cuenta con tres calderas, dos de estas pertenecen a la Escuela de Ingeniería en Mantenimiento Industrial y una a la Escuela de Ingeniería en Agronegocios, las primeras funcionan como plantas de vapor, son marca Clayton y York-Shipley y tienen un rendimiento de 8,7 galones por hora y 9 galones respectivamente. Por su parte la caldera de la Escuela de Ingeniería en Agronegocios no se encontró en funcionamiento durante el 2017. Esta actividad no tiene un aporte significativo en cuanto al consumo de combustible, debido a que son utilizadas para labores de docencia a un sector pequeño de la población estudiantil.

Flotilla vehicular

En cuanto a la flotilla vehicular institucional está en su mayoría controlada por la Unidad de Transportes, sin embargo, algunos carros están a cargo de Escuelas, Dependencias y principalmente Centros de Investigación, en total el ITCR cuenta con aproximadamente 95 vehículos para su funcionamiento los cuales son heterogéneos en tipo, marca y modelo. Los datos de consumo de combustibles fósiles de esta actividad se registran mediante un software que facilita la recolección de información, debido a que es la actividad con más cantidad de datos y colaboradores involucrados. Dicho software ha sido desarrollado en colaboración con el SESLab y GASEL, cuenta con funcionalidades de registro de facturas, generación de reportes, creación de usuarios y departamentos, manipulación de datos e inclusión de nuevas placas de vehículos. Durante el 2017 se implementaron mejoras para que la presentación de reportes fuera más acertada de acuerdo con las necesidades del SGCN, de este modo es

posible realizar reportes por departamento, por vehículo, por año, por sede y por usuario, de tal modo que las funcionalidades se adapten no solamente al proyecto en cuestión sino también al quehacer de la GASEL. En la Figura 3 se muestra el proceso de obtención del dato de consumo de combustible de los vehículos y la evidencia de este, que en este caso son las facturas de compra.

La obtención de estos datos fue posible con una directriz que solicita a los choferes, investigadores, docentes y administrativos en general que hacen uso de los vehículos solicitar facturas con toda la información necesaria: número de factura, fecha, placa del vehículo, tipo de combustible, cantidad de litros y kilometraje. Además, es importante que medidas como estas se gestionen de manera inclusiva, de tal forma que los colaboradores tomen como parte de su trabajo dicha labor, acompañado siempre de capacitación tanto del objetivo del registro de combustible como del software empleado.

En algunos casos, especialmente en los centros de investigación fue necesario nombrar a un encargado de ingresar las facturas, de tal forma que el sistema sea centralizado, esto debido a que se cuenta con muchos profesores investigadores que cambian continuamente por lo que obtener las facturas de combustible empleadas para sus proyectos de investigación se vuelve complejo.

Debido al poco tiempo de implementación del SGCN aún se cuentan con casos en los que principalmente los investigadores obtienen la factura de combustible y la cobran directamente ante el Departamento de Financiero Contable, lo que dificulta significativamente la obtención de la información. Para este tipo de situaciones se planteó un cambio en el procedimiento de manera tal que los investigadores cobraran dichas facturas únicamente una caja de cobro perteneciente a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE), para que de este modo se centralice este sector y se obtenga la mayor cantidad de facturas.

Una mejora importante es que la recopilación de las evidencias sea totalmente digital, por el momento estas se obtienen de la forma que sea más sencilla para el colaborador (escaneo, fotografía o fotocopia), por lo que se recomienda integrar la captura de evidencias al software de tal modo que se reduzcan las posibilidades de pérdidas de facturas y que sea más eficiente el procedimiento.

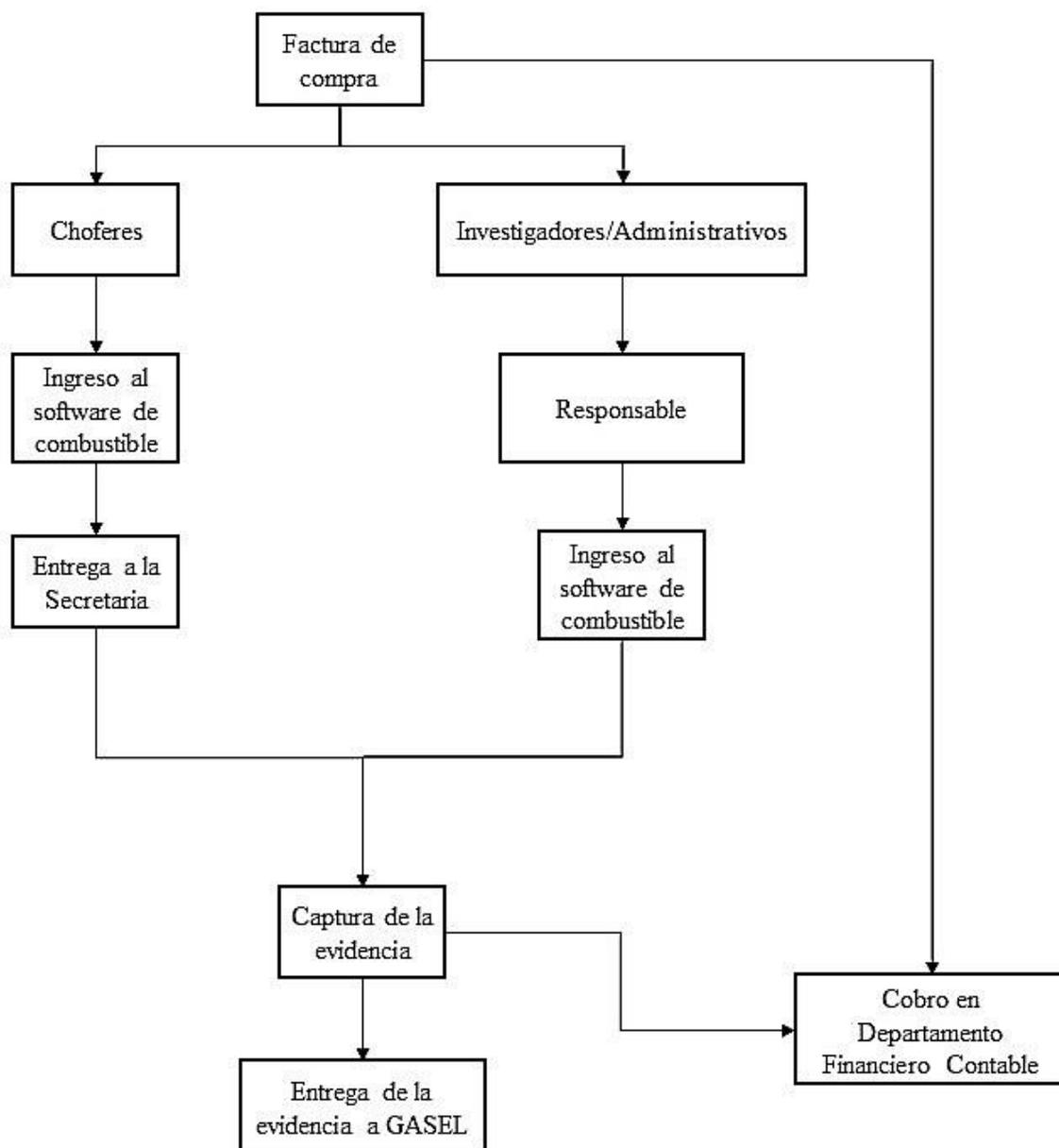


Figura 5.3. Proceso de obtención de datos y evidencias del combustible de los vehículos institucionales

Tal como se demuestra en el Cuadro 5.5, el consumo de combustible debido a la flotilla vehicular se mantiene relativamente estable durante la mayoría del año y presenta valores más bajos durante los meses de enero, julio y diciembre, los cuales corresponden a los periodos de vacaciones de la Universidad, este comportamiento se repite en las actividades de consumo de gas licuado de petróleo y maquinaria ya que influyen de manera directa en las funciones de docencia y mantenimiento de la Institución.

En la Figura 4 se representa gráficamente el consumo mensual por tipo de combustible correspondiente a la flotilla vehicular, siendo el diésel es el tipo predominante ya que en

todos los meses representa más de un 80% del total, debido a que la flotilla institucional está compuesta mayoritariamente por vehículos que usan este tipo de combustible, el inventario correspondiente se encuentra en el Apéndice 1.

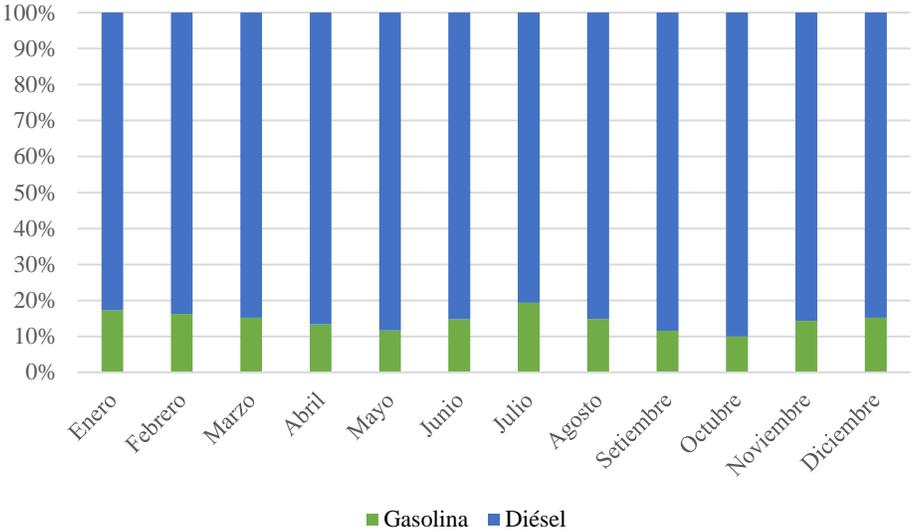


Figura 5.4. Consumo mensual de combustible según tipo

Maquinaria

Otra actividad que genera consumo de combustible es el uso de maquinaria, la cual se compone de motoguadañas, equipos para chapear, sopladoras, tractores, chapulines y similares, el Apéndice 2 se presenta el inventario correspondiente. Estos equipos son usados en la Universidad con fines académicos y de mantenimiento, principalmente en las zonas verdes, por lo que presenta disminuciones de consumo en los meses que comprenden las vacaciones. El registro de los datos de esta actividad es manual y se obtienen las evidencias mediante la factura de compra.

Gas licuado de petróleo

Por su parte el consumo de gas licuado de petróleo se da principalmente por las actividades de cocina del Restaurante Institucional, además algunos laboratorios de docencia hacen uso de este. Al igual que el uso de la flotilla vehicular y la maquinaria, este consumo presenta una reducción en los meses que comprenden el periodo de vacaciones, esto se refleja en el

Cuadro 5.5. La información de esta actividad se recopila mediante un registro manual y la evidencia es solicitada a la empresa proveedora del gas.

Acetileno y dióxido de carbono

En la Institución el acetileno y el dióxido de carbono se utilizan como combustible para la soldadura en actividades de mantenimiento y docencia, estos gases no son usados de manera continua en la Universidad, por lo que el comportamiento de su consumo es fluctuante y el aporte al inventario de emisiones no es significativo. Las facturas de recargas son las evidencias de estas actividades y los datos de estas son registradas en registros manuales.

5.1.2.2 Datos de recargas de refrigerantes

El uso de aires acondicionados es una práctica cada vez más común en la Universidad, esto puede deberse a que en algunas épocas se percibe un alza de temperatura en el campus tomando como referencia años anteriores, sin embargo, de manera general, Cartago posee un clima que no amerita estrictamente la instalación de estos equipos, por lo que también interviene la actitud de los funcionarios de la Institución. En un diagnóstico energético realizado en el campus durante el 2016 se obtuvo como resultado que aproximadamente 150 de estos equipos eran los responsables de casi el 30% de la facturación eléctrica de la Institución (SESLab, 2016). Es importante aclarar que el aporte de los aires acondicionados al inventario de GEI se debe al consumo energético y a las recargas de los refrigerantes, es decir, si los equipos no presentan fugas estos no generan emisiones de alcance I. En el Cuadro 5.6 se presentan los datos recopilados para esta fuente, los cuales son obtenidos mediante un reporte generado por la empresa encargada del mantenimiento de los aires acondicionados y es evidenciada mediante las boletas de revisiones.

Cuadro 5.6. Información de recargas de refrigerantes

Fecha	N° de boleta	Tipo de refrigerante	Cantidad de refrigerante (Lb)
04/05/2017	27144	R410	3
29/04/2017	27147	R507	8
No se reporta	27146	R410	6
23/08/2017	28302	R410	4
24/08/2017	28304	R22	5
03/11/2017	28927	R410	5
10/11/2017	28984	R507	3

5.1.2.3 Datos de lubricantes

Los lubricantes utilizados en la Universidad pueden agruparse en dos grupos: los correspondientes a la flotilla vehicular y los aplicados a los motores de dos tiempos, en el Cuadro 5.7 se encuentra el consumo mensual correspondiente a cada uno. Los cambios de aceite de los vehículos se registran de dos maneras, una de ellas es mediante un reporte generado por las empresas que dan mantenimiento a los carros que pertenecen específicamente a la Unidad de Transportes y la otra es por medio las facturas de pago de dichos cambios de aceite, esta última aplica para los pertenecientes a otras Dependencias y Centros de Investigación, en algunos meses se eleva el consumo de lubricantes debido a que una de las empresas proveedoras reporta en un solo dato el total de lubricante aplicado hasta la fecha.

En cuanto a los lubricantes de los motores de dos tiempos, estos se registran mediante registros manuales y se evidencian con las facturas de compra, exceptuando los correspondientes al DAM, estos se calculan con un factor de proporción respecto a la cantidad de combustible, el cual se menciona en la sección 4.3.5.

Cuadro 5.7. Consumo de lubricantes en la flotilla institucional

Mes	Tipo de lubricante	
	Flotilla Vehicular (L)	Motores dos tiempos (L)
Enero	19,64	98,79
Febrero	31,20	65,55
Marzo	61,73	33,05
Abril	23,66	17,27
Mayo	46,84	9,61
Junio	70,03	23,39
Julio	2,84	60,08
Agosto	683,09	25,45
Setiembre	14,19	8,40
Octubre	84,33	10,71
Noviembre	27,20	29,84
Diciembre	434,44	37,86
Total	1.499,19	419,89

5.1.2.4 Datos de aplicación de agroquímicos

El consumo de agroquímicos en la Universidad se da principalmente en labores de docencia de carreras que tienen injerencia en las ciencias del suelo. Exceptuando la carrera de ingeniería en biotecnología que utiliza fertilizante en sus labores, sin embargo, este no es contabilizado ya que se usan a escala de laboratorio y no son aplicados al suelo. Los datos de esta fuente se obtienen mediante registros manuales que controlan las dependencias responsables, en el Cuadro 8 se muestra la cantidad usada por tipo de producto, esta no genera mayor aporte al Inventario de GEI debido a que es utilizado en procesos académicos de poblaciones estudiantiles pequeñas, además en los últimos años se han implementado iniciativas para la sustitución de químicos por técnicas orgánicas.

Cuadro 5.8. Cantidad de fertilizantes aplicados según tipo de producto

Nombre del producto	Cantidad aplicada (kg-L)
10-30-10	71,3
10-30-30	82,95
12-24-12	120,5
12-27-8	22
15-30-10	5
15-3-31	70,5
18-5-15	37,9
Bayfolan	2,57
Nitrato de amonio	37,2
Nutran	22
Maxi-Grow	0,25
Activistmag-Fio	0,5
Bloomtastic	1
Nutridol	1
Helping	0,25
12-24-18	1
12-17-8	45
12.3.20	11
Raizal	0,35
Kadostim	0,25

5.1.2.5 Datos de la generación de agua residual

Las aguas residuales generadas en la Institución son tratadas mediante tres lagunas de oxidación principalmente con la utilización de macrófitas flotantes. En el Cuadro 5.9, se presenta los parámetros de caudal y Demanda Química de Oxígeno (DQO) para la entrada al sistema de tratamiento de agua residual para distintas fechas y reportes operacionales. Estos últimos junto con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al agua residual son las evidencias de dichos datos.

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

Fecha / Reporte Operacional	Caudal (L/día)	Demanda Química de Oxígeno (kg/L)
I Reporte operacional	155000	
15/03/2017		0,000749
II Reporte Operacional	100000	
III Reporte Operacional	103680	
13/9/2017		0,000585

5.1.2.6 Datos de las recargas de extintores

En el Cuadro 5.10 se presenta las recargas realizadas a extintores CO₂ de manera mensual. El comportamiento fluctuante se debe a que la descarga de extintores se da únicamente durante las capacitaciones de inducción de uso de estos. En total la Institución cuenta con 263 extintores de CO₂, en el Apéndice 3 se muestra la cantidad por tipo de agente, el consumo de CO₂ de estos equipos se registra de manera manual y se evidencia mediante las facturas de pago de dichas recargas.

Cuadro 5.10. Cantidad de dióxido de carbono recargado en extintores

Mes	Recargas (kg de CO ₂)
Enero	0,00
Febrero	0,00
Marzo	0,00
Abril	0,00
Mayo	4,54
Junio	6,80
Julio	0,00
Agosto	4,54
Setiembre	4,08
Octubre	0,00
Noviembre	0,00
Diciembre	0,00
Total	19,96

5.1.2.7 Datos del consumo de energía eléctrica

La Universidad cuenta con 15 medidores de electricidad, el servicio es provisto por JASEC y el ICE. En el Cuadro 11 se presenta el consumo eléctrico mensual, este se registra manualmente y se evidencia mediante las facturas facilitadas por los proveedores del servicio.

Cuadro 5.11. Consumo eléctrico mensual

Mes	Consumo (kWh)
Enero	210.204,00
Febrero	326.871,00
Marzo	283.208,00
Abril	340.914,00
Mayo	323.982,00
Junio	340.304,00
Julio	242.478,00
Agosto	322.092,00
Setiembre	316.809,00
Octubre	346.611,00
Noviembre	343.871,00
Diciembre	287.703,00
Total	3.685.047,00

5.1.2.8 Datos de la generación de residuos sólidos

En cuanto a la recopilación de la cantidad de residuos sólidos no valorizables generados por la Institución, esta se plantea mediante un registro manual controlado por la Unidad de Conserjería y evidenciado mediante las facturas de recolección de la empresa encargada. Sin embargo, para el 2017 este procedimiento no fue posible debido al incumplimiento del contrato por parte de la empresa recolectora en cuanto a la exclusividad del servicio a la Universidad, con el fin de que el indicador de kilogramos de residuos enviados al relleno sanitario pertenezca únicamente a lo generado por el ITCR. A pesar del seguimiento temprano que le ha dado GASEL a esta situación y los informes de auditorías presentados a las autoridades y dependencias institucionales encargados de la penalización y corrección a la empresa y por la ineficiencia que representa la burocracia en el sector público no fue posible obtener indicadores correctos para ninguno de los meses del año en cuestión.

Debido a lo anterior, para el 2017, se aproxima la generación de residuos sólidos no valorizables utilizando el promedio de tres recolecciones realizadas durante el mes de noviembre, las cuales fueron ejecutadas directamente por la Institución como parte de una auditoría al proveedor del servicio de recolección. Según estos datos, los cuales son evidenciados mediante las facturas emitidas por el relleno sanitario, el promedio mensual es de 13760 kg de residuos, exceptuando los meses de enero, julio y diciembre debido a que estos representan los periodos de vacaciones que comprenden dos semanas por cada uno de dichos meses, por lo que para estos se estima una generación de 6880 kg/mes.

La utilización de dicho dato se argumenta con un estudio de composición de los residuos sólidos enviados al relleno sanitario, este comprende un análisis detallado del comportamiento de la generación de desechos y se obtuvo una generación mensual de 10377.8 kg (Calderon, 2017). Sin embargo, dicho estudio no comprende los residuos correspondientes al Restaurante Institucional y el crecimiento poblacional, lo cual puede justificar el aumento del promedio mensual calculado para el 2017. Además, dicho dato se aproxima bastante bien al promedio mensual reportado en el 2016, antes de que entrara a operar la empresa que presenta incumplimientos, el cual es de 12837.33 kg.

5.1.2.9 Datos de viajes aéreos

Los viajes aéreos de los funcionarios de la Institución se procesan mediante órdenes de compra emitidas por el Departamento de Aprovisionamiento, estas contienen datos como nombre y número de cédula del pasajero, itinerario y aeropuertos respectivos, esta información es recopilada mediante un registro manual. En el Cuadro 5.12, se presenta la cantidad mensual de viajes aéreos realizados en el 2017.

Cuadro 5.12. Cantidad mensual de viajes aéreos

Mes	Cantidad de viajes
Enero	2
Febrero	7
Marzo	9
Abril	14
Mayo	16
Junio	34
Julio	25
Agosto	15
Septiembre	28
Octubre	32
Noviembre	17
Diciembre	4
Total	203

5.1.3 Cálculo de las emisiones

En el Cuadro 5.13 se muestran los valores de las emisiones para cada alcance y en la Figura 5.5 mediante un gráfico circular se representa la contribución porcentual de cada uno de estos. Al analizar el total de las emisiones de CO₂e para el 2017 por alcance se concluye que el alcance tres o de otras emisiones indirectas es el que presenta un mayor aporte al inventario de gases con efecto invernadero, seguido de las emisiones directas e indirectas respectivamente.

Cuadro 5.13. Emisiones de dióxido de carbono equivalente por alcance

Alcance	Toneladas de CO ₂ e
I	443,937
II	205,276
III	651,942
Total	1301,155

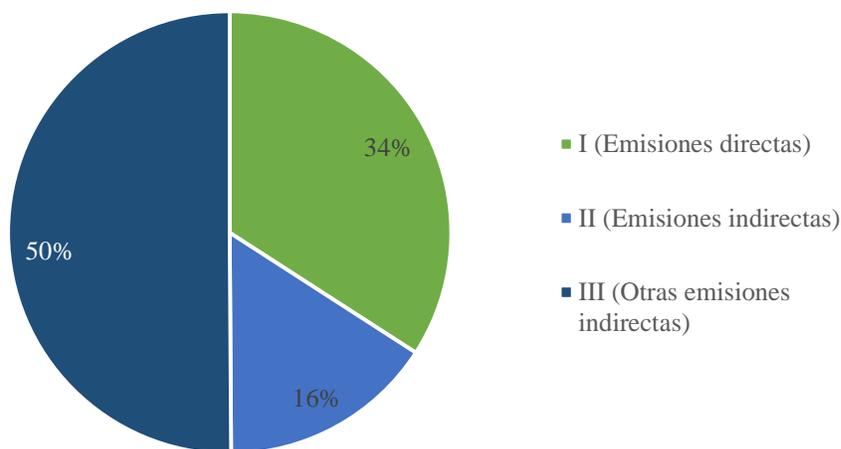


Figura 5.5. Aporte porcentual de cada alcance al inventario de gases con efecto invernadero

Enfocando el análisis al aporte de cada fuente, se presenta la Figura 5.6 que muestra la contribución en porcentaje al inventario total de gases con efecto invernadero de cada una de las fuentes. Las predominantes son los viajes aéreos, el consumo de combustible en la flotilla vehicular, los residuos sólidos, el consumo de energía eléctrica y de gas licuado de petróleo. Por su parte el uso dióxido de carbono, la recarga de extintores, aplicación de agroquímicos,

recargas de refrigerantes y uso de lubricantes no representan un aporte significativo al inventario de GEI, debido a que no alcanzan ni un 3% del total de emisiones, estas fuentes pueden excluirse del reporte de acuerdo con lo establecido por la Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad.

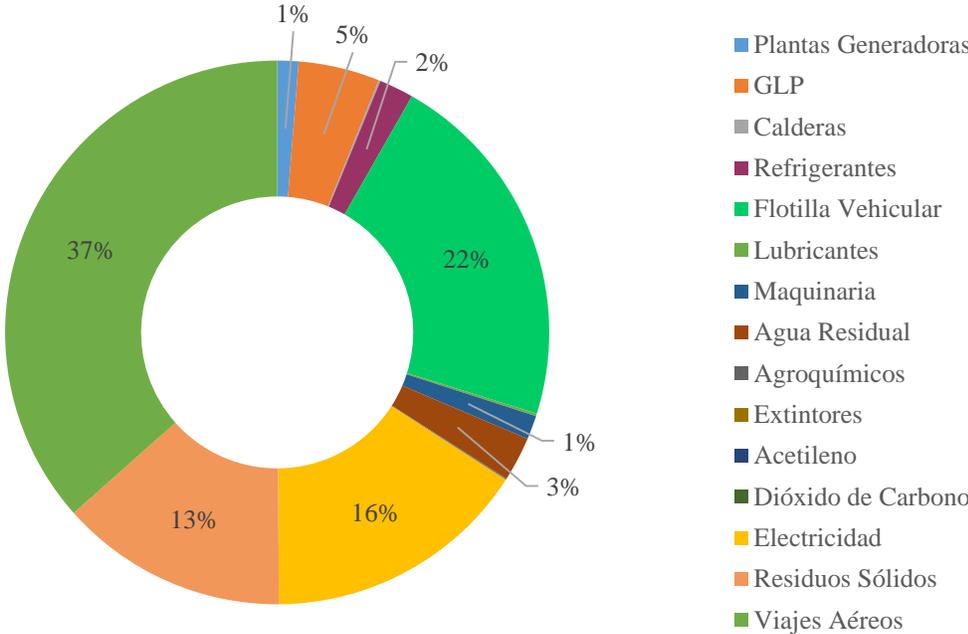


Figura 5.6. Contribución porcentual de cada actividad al inventario de GEI

5.1.3.1 Emisiones directas o de alcance I

En el Cuadro 5.14 se presentan las emisiones mensuales de CO₂e correspondientes al alcance I para el año 2017. Además, en la Figura 5.7 se presenta el gráfico del aporte de cada una de estas fuentes a dicho alcance. Las emisiones directas conciernen a 449.378 toneladas de dióxido de carbono equivalente del total de las emisiones contabilizadas, de las cuales el mayor aporte lo da el consumo de combustible fósiles con un 84%, seguido de la generación de agua residual y la recarga de refrigerantes con un 10% y 5% respectivamente, las demás fuentes no representan una contribución significativa a este alcance.

Cuadro 5.14. Emisiones de dióxido de carbono equivalente correspondientes al alcance I

Fuente		Toneladas de CO _{2e}								Total
		Combustible	Refrigerantes	Lubricantes	Agroquímicos	Agua Residual	Extintores	Acetileno	Dióxido de carbono	
Mes	Enero	9,961	2,223	0,303	0,045	2,860	0,000	0,000	0,010	15,401
	Febrero	27,674	2,223	0,210	0,045	2,860	0,000	0,041	0,000	33,053
	Marzo	40,068	2,223	0,129	0,045	2,860	0,000	0,025	0,000	45,351
	Abril	31,161	2,223	0,063	0,045	2,860	0,000	0,103	0,075	36,530
	Mayo	38,508	2,223	0,052	0,045	2,860	0,005	0,064	0,000	43,757
	Junio	48,450	2,223	0,105	0,045	2,860	0,007	0,000	0,000	53,689
	Julio	13,226	2,223	0,180	0,045	2,860	0,000	0,000	0,000	18,533
	Agosto	40,628	2,223	0,424	0,045	2,860	0,005	0,000	0,000	46,184
	Septiembre	40,497	2,223	0,032	0,045	2,860	0,004	0,000	0,010	45,671
	Octubre	35,780	2,223	0,075	0,045	2,860	0,000	0,000	0,000	40,983
	Noviembre	37,102	2,223	0,102	0,045	2,860	0,000	0,142	0,000	42,474
	Diciembre	16,849	2,223	0,334	0,045	2,860	0,000	0,000	0,000	22,310
Total		379,905	26,671	2,009	0,542	34,320	0,020	0,375	0,095	443,937

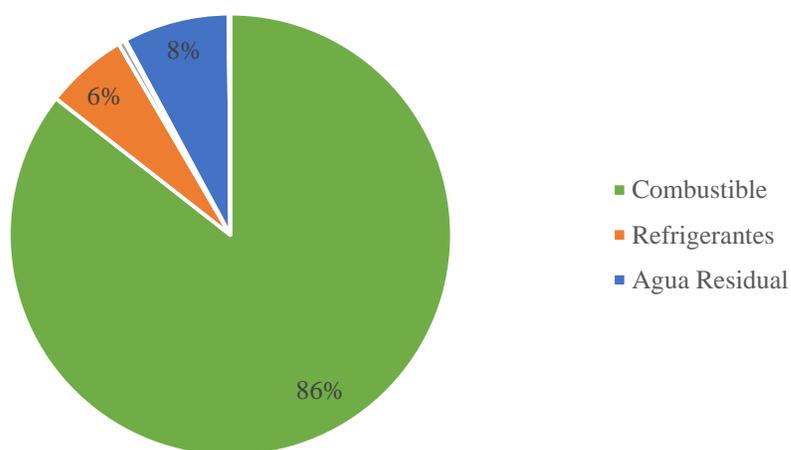


Figura 5.7 Aporte porcentual de cada fuente perteneciente al alcance I

Centrándose en las fuentes con mayor aporte, las emisiones de combustibles fósiles están compuestas por las actividades mencionadas en la sección 5.1.2.1, la contribución porcentual de cada una se presenta gráficamente en la Figura 5.8. Las actividades con mayor aporte en esta fuente son la flotilla vehicular (74%) y el gas licuado de petróleo (16%). Por su parte, la maquinaria y las plantas generadoras de electricidad representan el 5% y 4% del total,

respectivamente, seguido de las calderas las cuales significan solamente el 1% de dichas emisiones, lo anterior debido a lo explicado en la descripción de dichos consumos en la sección 5.1.2.1.

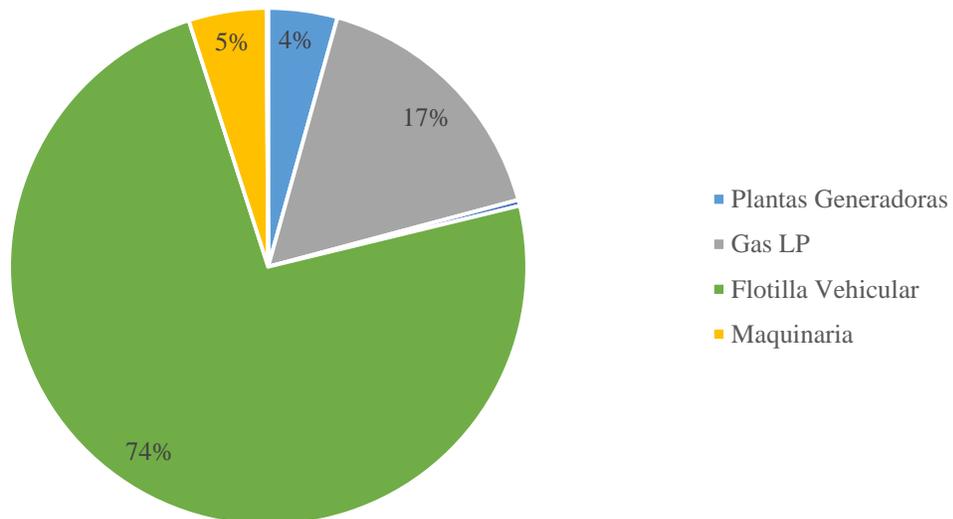


Figura 5.8. Distribución porcentual del aporte de las actividades consumidoras de combustibles en la generación de emisiones de dióxido de carbono equivalente de dicha fuente

5.1.3.2 Emisiones indirectas o de alcance II

En el Cuadro 15 se presentan las emisiones mensuales debido al consumo de energía eléctrica.

Cuadro 5.15. Emisiones mensuales de dióxido de carbono equivalente debido al consumo de energía eléctrica

Mes	Toneladas CO _{2e}
Enero	11,71
Febrero	18,21
Marzo	15,77
Abril	18,99
Mayo	18,05
Junio	18,95
Julio	13,51
Agosto	17,94
Setiembre	17,65
Octubre	19,31
Noviembre	19,15
Diciembre	16,03
Total	205,26

5.1.3.3 Otras emisiones indirectas o de alcance III

Tal como se menciona en la sección 5.1.3 las emisiones de alcance III representan gran parte del total del inventario de GEI, en el Cuadro 5.16 se presentan las emisiones mensuales debidas a la generación de residuos sólidos y viajes aéreos. Además, en la Figura 5.9 se muestra que, de otras emisiones indirectas, el mayor aporte se debe a los viajes aéreos con un 67% y el restante 33% es debido a la generación de residuos sólidos.

Cuadro 5.16. Emisiones mensuales correspondientes al alcance III

Mes	Toneladas de CO _{2e}	
	Viajes aéreos	Residuos sólidos
Enero	2,226	8,394
Febrero	18,218	16,789
Marzo	6,830	16,789
Abril	40,966	16,789
Mayo	22,722	16,789
Junio	84,107	16,789
Julio	64,534	8,394
Agosto	53,563	16,789
Septiembre	48,712	16,789
Octubre	90,916	16,789
Noviembre	32,624	16,789
Diciembre	10,244	8,394
Total	475,662	176,280

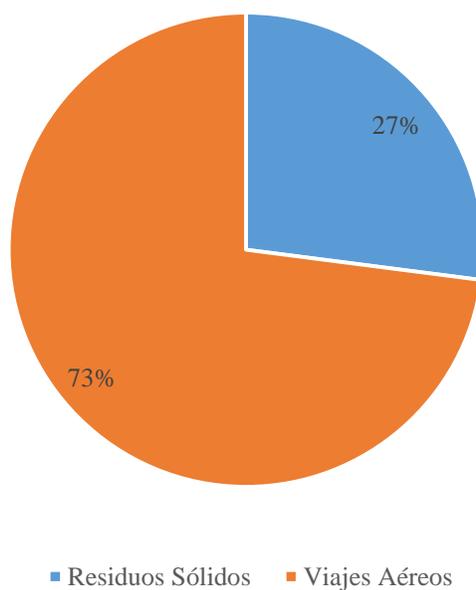


Figura 5.9. Distribución porcentual de las fuentes del alcance III.

5.1.3.4 Comparación de emisiones de GEI

La Universidad a partir del 2010 ha desarrollado anualmente el inventario de GEI de la Sede Central, según (Rodríguez et al., 2015) en el 2012 se emitieron 825 toneladas de CO_{2e} y en el 2013 1058 toneladas de CO_{2e}, para el año en estudio se reportan aproximadamente 1365 toneladas de CO_{2e}, el aumento puede deberse al crecimiento institucional y a la mejora del SGCN, ya que este aporta mayor trazabilidad de los datos generando así una mayor exactitud en el cálculo de las emisiones de GEI. Además, de la inclusión de algunas fuentes menores que no eran cuantificadas con rigurosidad. En el Cuadro 5.17 se presentan los valores de emisiones per cápita para cada uno de los años antes mencionados, con el fin de comparar el aporte por persona a las emisiones de la Universidad, estos valores también presentan un aumento por las razones antes mencionadas.

Cuadro 5.17. Emisiones de dióxido de carbono equivalente per cápita para la Sede Central del ITCR en distintos años

Año	Toneladas CO _{2e}	Emisiones per cápita (Toneladas CO _{2e} / persona / año)
2012	825	0,10
2013	1058	0,12
2017	1301	0,14

En el Cuadro 5.18 se presentan valores de emisiones per cápita de distintas universidades tanto de Latinoamérica como Europa y más específicamente de Costa Rica, lo anterior con el objetivo de comparar las emisiones de GEI de diversas instituciones de educación superior.

Cuadro 5.18. Emisiones de dióxido de carbono equivalente per cápita para distintas universidades

Universidad	Año	Emisiones per cápita (Toneladas de CO _{2e} /persona/año)	Referencia bibliográfica
Universidad de Chile, Chile	2015	1,000	(Díaz, 2015)
Universidad de Córdoba, España	2015	0,416	(de Toro et al., 2016)
Universidad de Valladolid, España	2014	1,002	(Hernández, Cano, & Correa, 2015)
Universidad Rafael Landívar, Guatemala	2012	86,166	(Rodas, 2014)
Universidad Politécnica de Cartagena, España	2013	1,071	(Hermosilla, 2014)
Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica	2014	0,143	(Chavarría et al., 2016)

En algunos casos como las universidades de Chile y España se tiene un valor per cápita mayor al del TEC, debido a aspectos como la contabilización de más fuentes en el alcance tres, tales como el consumo de papel, el gasto energético en la potabilización y distribución del agua y la movilización de estudiantes y funcionarios al campus, además de la diferencia de factores de emisión por el contexto geográfico, esto último aplica de manera significativa en la Universidad de Guatemala, debido a que la mayoría de sus emisiones se deben al consumo de electricidad, la cual tiene un factor de 0,3792 kg de CO₂e / kWh debido a la matriz energética con la que cuenta este país, lo que se traduce en un factor aproximadamente 85% mayor que el usado en Costa Rica.

Por su parte, la Universidad Nacional de Costa Rica reporta para el 2014 un valor per cápita muy similar al del ITCR en el 2017, esto debido a que ambos estudios coinciden en la mayoría de las fuentes de emisión analizadas, así como en los factores utilizados debido a la similitud del contexto geográfico.

5.1.3.5 Cálculo de incertidumbres de las emisiones

En el Cuadro 5.20 se muestra la aproximación de la incertidumbre del inventario de GEI, la cual es de 1.28%. No todas las actividades cuentan con un dato de incertidumbre asociado, por la limitante de que en el país este tema tiene poco estudio y la disponibilidad de información es poca, por lo que algunas empresas no han cuantificado el porcentaje de error de sus bienes y servicios y además existen factores de emisión sin dicho dato, por parte del IMN.

Para el inventario de remociones se calculan porcentajes de error con una metodología diferente a la empleada para el inventario de emisiones, en el Anexo 1 amplía la misma.

La Norma INTE B5:2016 Norma para Demostrar la Carbono Neutralidad, menciona que las organizaciones cuentan con el deber de completar y documentar la evaluación de la incertidumbre de su inventario de emisiones y remociones, tanto del dato de la actividad como del factor de emisión o remoción, sin embargo, a nivel nacional no es hasta el momento un requisito obligatorio para la obtención de la certificación de Carbono Neutralidad, se espera que para inventarios de GEI posteriores se cuente con una guía que la DCC está elaborando.

Cuadro 5.19. Incertidumbre por cada actividad o fuente

Fuente/Actividad	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (%)	Incertidumbre del factor de emisión (%)	Incertidumbre combinada	Contribución a la varianza
Plantas generadoras de electricidad	CO2	0,03	5,24	5,24008588	0,00433812
	CH4	0,03	131	131,000003	2,6064E-06
	N2O	0,03	130,5	130,500003	2,2583E-05
Gas Licuado de Petróleo	CO2	0,01	8,785	8,78500569	0,17908704
	CH4	0,01	125,5	125,5	0,00011999
	N2O	0,01	125,5	125,5	1,0197E-05
Calderas	CO2		3,145	3,145	1,1388E-05
	CH4		124	124	3,7836E-10
	N2O		130,5	130,5	1,7126E-12
Flotilla Vehicular Diesel	CO2	0,5	3,155	3,19437396	0,3505858
	CH4	0,5	94	94,0013298	0,00043533
	N2O	0,5	122,5	122,50102	0,17210291
Flotilla Vehicular Gasolina	CO2	0,5	5,24	5,26380091	0,01814846
	CH4	0,5	139	139,000899	0,00092242
	N2O	0,5	122	122,001025	0,01507526
Maquinaria Diesel	CO2	0,03	3,155	3,15514263	0,00073012
	CH4	0,03	124	124,000004	1,0629E-05
	N2O	0,03	130,5	130,500003	1,0484E-05
Maquinaria Gasolina	CO2	0,03	5,24	5,24008588	0,00084942
	CH4	0,03	125,5	125,500004	5,168E-06
	N2O	0,03	130,5	130,500003	4,9724E-06
Agroquímicos - Fertilizantes	N2O - aportes		2,6	2,6	5,7569E-07
	N2O - lixiviados		1,275	1,275	7,0086E-09
	N2O - volatilización		2,6	2,6	2,3028E-08
Electricidad	CO2	0,02		0,02	9,956E-06
Total					0,74248347
Porcentaje de incertidumbre del inventario total					0,8616748

5.2 REDUCCIONES, COMPENSACIÓN Y CÁLCULO DE LA CARBONO NEUTRALIDAD

5.2.1 Plan de gestión de las reducciones

Como parte del cumplimiento de requisitos para alcanzar la carbono neutralidad se planteó un plan de gestión de reducciones, el cual incluyó 3 fuentes de emisión: consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles fósiles y generación de residuos sólidos, la priorización de las mismas se dio analizando su aporte al total de emisiones y la factibilidad de implementación de medidas. En el Apéndice 4 se presenta a modo de ejemplo lo planteado para la fuente de consumo de electricidad. Este incluye las responsabilidades correspondientes para lograr los objetivos propuestos siempre bajo una planificación mediante un cronograma de cumplimiento. Tomando en cuenta que un sistema de gestión ambiental funcional debe estar totalmente integrado con la gestión total de la organización (Rey, 2008) dicho plan se desarrolló de manera socializada con los principales responsables en el control e implementación de dichas medidas y con la administración, quienes serán los responsables de asegurar los recursos necesarios. Además, el plan se homologó con otros como el planteado por el PGAI y el PBAE, debido a esto se dispone de un periodo de 5 años para el cumplimiento del plan con el fin de unir esfuerzos y equiparar periodos. En el cuadro 5.21 se presentan las medidas más importantes de este plan.

Cuadro 5.20. Resumen del Plan de Gestión de Reducciones

Fuente	Meta	Medidas	Responsables
Consumo de energía eléctrica	Reducir 57 toneladas de CO ₂ e debido al consumo de energía eléctrica	Instalación de sensores ultrasónicos en aulas y oficinas	GASEL DAM SESLab VAD
		Instalación de sensores de presencia para los aires acondicionados	
		Directrices institucionales de eficiencia en instalación de aires acondicionados	
		Construcción de Complejo Solar TEC	
Consumo de combustibles	Reducir 18 toneladas de CO ₂ e debido al consumo de combustibles fósiles	Adquirir vehículos eléctricos o híbrido	Unidad de Transportes DAM GASEL VAD
		Capacitar a los choferes en conducción eficiente	
		Directrices institucionales de eficiencia en la movilidad	
		Adquirir maquinaria eléctrica	
Generación de residuos sólidos	Reducir 11 toneladas de CO ₂ e debido al consumo de combustibles fósiles	Mejorar la separación de residuos sólidos valorizables	GASEL VAD
		Desarrollar un programa de capacitación a la comunidad institucional en el tema de residuos sólidos	
		Declarar la Institución libre de plástico de un sólo uso	
		Desarrollar un plan de reducción de uso de papel	
		Diseñar un sistema para el tratamiento de los residuos orgánicos	

El plan de gestión de reducciones incluye además de las acciones a desarrollar, las plantillas de cálculo de las reducciones de la implementación de dichas medidas, así como la declaración del compromiso de la administración con la carbono neutralidad.

5.2.2 Cuantificación de las reducciones del 2017

Siendo consecuentes con los resultados del inventario de GEI, la Institución ha implementado medidas durante el 2017 que se enfocan en reducir emisiones de tres de las fuentes con mayor aporte: consumo de combustibles fósiles, consumo de energía eléctrica y generación de residuos sólidos. Generalmente el cálculo de reducciones se realiza mediante la comparación de emisiones respecto al baño base, sin embargo, para este caso el año base coincide con el año de reporte, por lo que algunas medidas de reducción no se consideran ya que están incluidas en el inventario de GEI.

5.2.2.1 Reducciones en el consumo de combustibles fósiles

Para la disminución del consumo de combustibles fósiles, se han realizado acciones para generar una mejora en la eficiencia de la flotilla institucional, tales como planificación de viajes compartidos y la compra de carros híbridos y eléctricos.

En cuanto a la primera acción, se desarrolló identificando las rutas más comunes realizadas por los funcionarios y estudiantes de la Institución, asignando días específicos para estos viajes y comunicando dicha medida a la comunidad institucional mediante una directriz administrativa. Los recorridos que se les asignó horario exclusivo son los que se dirigen a la Sede Regional San Carlos, el Centro Académico de Limón y el Consejo Nacional de Rectores. Además, por iniciativa mayoritariamente de la Unidad de Transportes se unifican algunas rutas y viajes que no fueron incluidos en la directriz anterior, sin embargo, esta es una medida a reforzar en el plan de gestión de las reducciones para que sea impulsada desde la administración de la Universidad. La reducción de GEI referente a esta medida no se cuantificó debido a que no se contaba con el indicador de la cantidad de viajes compartidos y sus rutas, se recomienda controlar esta información para el periodo del 2018 con el fin de contribuir al reporte de las disminuciones.

Otra medida implementada fue la sustitución de 4 carros convencionales por carros híbridos, en el Cuadro 5.22 se muestran las placas sustituidas y las emisiones reducidas debido a esto, los vehículos iniciaron su circulación en noviembre del 2017 por lo que la reducción de emisiones no es tan alta. Además, hace unos años la Institución cuenta con tres camiones

eléctricos que son utilizados en las actividades cotidianas del DAM y del Departamento de Aprovechamiento.

Cuadro 5.21. Placas de los vehículos convencionales sustituidos por los vehículos híbridos

Vehículos híbridos	Vehículos sustituidos	Emisiones reducidas (kg CO₂e/año)
265-254	265-084	9,78
265-261	165-088	159,11
265-258	265-094	0,00
265-260	265-132	32,21
Total		201,09

5.2.2.2 Reducciones en el consumo de energía eléctrica

Centrándose en la eficiencia energética, en los últimos años el ITCR se ha interesado por desarrollar investigación e implementación de paneles fotovoltaicos, a raíz de esto se instalaron tres sistemas distintos sobre el techo del edificio de Rectoría y además se inició la construcción de un complejo solar que abastezca en aproximadamente el 30% del consumo eléctrico de la Institución y que además sirva de laboratorio para el incremento de la investigación en este campo. Dichos sistemas generaron durante el 2017 una cantidad de 26810 kWh lo que equivale a una reducción de 1,49 toneladas de CO₂e.

En cuanto a las medidas de eficiencia energética, se implementan en su mayoría mediante el DAM, durante el año en estudio se instalaron techos con aislante térmico en aulas y oficinas, además del remplazo de iluminación con tecnología LED y la instalación de películas térmicas. La reducción de GEI debido a la implementación de estas medidas no se cuantificó, debido a que no se cuenta con un año base para su comparación, ya que como se menciona anteriormente el año de reporte coincide con el año base.

5.2.2.3 Reducciones en la generación de residuos sólidos

Con el fin de mejorar la separación de residuos sólidos valorizables y su gestión en la Institución se realizó un diagnóstico del sistema actual, evaluando cada punto de separación o área del campus que ameritara recipientes de separación. Además, se evaluó la accesibilidad, visibilidad, cercanía a basureros de residuos no valorizables y la rotulación. De este diagnóstico se obtuvo como resultado mejoras en cada aspecto incluyendo la compra

de aproximadamente 45 baterías de separación y la eliminación de basureros de residuos no valorizables de aulas y alrededores. De manera simultánea se capacitaron aproximadamente a 800 personas que incluyen estudiantes y funcionarios para que aunado a la mejora en el sistema de gestión de residuos se dé una correcta separación por parte de la población institucional. La reducción de GEI debido a la implementación de estas medidas no se cuantificó debido a que no puede compararse con año anterior ya que el periodo de reporte y el base son el mismo.

Tomando en cuenta lo anterior se concluye que sumando las reducciones asociadas a la sustitución de vehículos convencionales por híbridos más la generación eléctrica mediante paneles solares, se obtiene un total de disminuciones de 1,69 toneladas de CO₂e, lo cual es un valor bajo respecto al total de emisiones de GEI, sin embargo, se espera que el plan de gestión de las reducciones impacte de manera significativa los años posteriores y pueda mejorarse la cuantificación de las reducciones.

5.2.3 Cálculo de compensaciones del 2017

Haciendo uso de las ecuaciones planteadas en la sección 4.4 y teniendo como insumos los datos presentados en el Cuadro 5.23 se estima que es necesario compensar 1087,34 toneladas de CO₂e. En cuanto al reporte de las remociones, este se obtiene del informe presentado en el Anexo 1, el cual indica lo capturado por las coberturas de árboles dispersos y cortinas rompe vientos, sin considerar las plantaciones forestales y el bosque natural ya que estas mediciones son preliminares y con un alto porcentaje de error. Por otra parte, la inversión aproximada debido a la compensación de GEI es de \$7610 usando como referencia lo que establece FONAFIFO, que una tonelada de CO₂ tiene un valor de \$7.

Cuadro 5.22. Datos para el cálculo de la compensación del 2017

Insumo de la ecuación	Toneladas de CO ₂ e
Emisiones	1301,56
Remociones	214,21
Reducciones	0

5.2.4 Cálculo de la carbono neutralidad

Teniendo completo el inventario de emisiones y remociones de GEI, la cuantificación de las reducciones y el cálculo de la compensación es posible completar la ecuación de la carbono neutralidad, mostrada en la sección 3.4. Es importante recordar que al coincidir el año de reporte con el año base las reducciones se reportan con valor cero, ya que estas son contempladas implícitamente en el inventario de emisiones. A continuación, se presenta la ecuación en cuestión:

$$\sum E - \sum R - \sum C = 0$$

$$1087,33 \text{ TCO}_2e - 0 \text{ TCO}_2e - 1087,33 \text{ TCO}_2e = 0 \text{ TCO}_2e$$

5.3 GESTIÓN DE LA CARBONO NEUTRALIDAD

Según (Boada, 2003), la gestión de la carbono neutralidad implica un proceso sistemático, que se basa en el cumplimiento de la política y objetivos ambientales de control y reducción de las emisiones de GEI, que además tiene como fin que el desempeño ambiental organizacional permanezca en mejora continua. Para el caso del ITCR, este no cuenta con una política ambiental segregada, sino que es un eje transversal tanto en su misión como en sus valores y políticas generales. Para que el SGCN sea eficiente es fundamental obtener el apoyo de las autoridades institucionales, esto mediante un análisis de la importancia y beneficios que representan los sistemas de gestión ambiental en una institución, a partir de esto se obtiene un compromiso con la carbono neutralidad firmado por el alto jerarca de la Universidad, en este caso el Rector.

En un SGCN es fundamental la trazabilidad de la información la cual se logra con la correcta documentación de las evidencias. En la Figura 5.10 se presenta un breve diagrama de los componentes básicos del sistema planteado, los cuales pueden agruparse en dos grandes secciones: documentación y evidencias. La primera está compuesta por el marco documental de los procedimientos, registros, inventario de GEI y plan de gestión de las reducciones, por su parte las evidencias deben representar todo aquello que necesite ser corroborado y trazable.

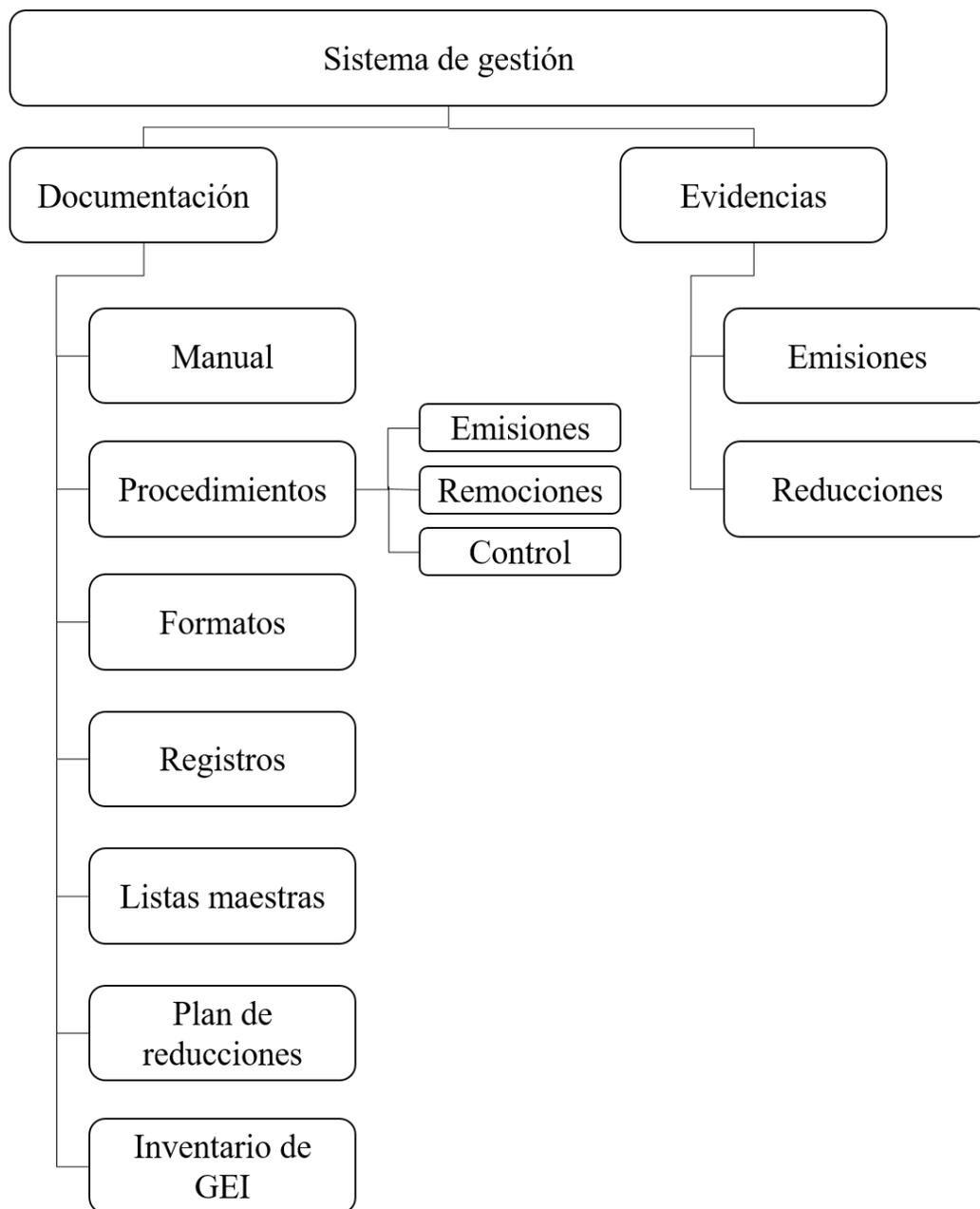


Figura 5.10. Diagrama de los componentes del Sistema de Gestión de la Carbono Neutralidad

En cuanto al Manual del SGCN, este plantea la estructura general del sistema teniendo entre sus secciones:

- La guía para la cuantificación del inventario de emisiones y remociones,
- La gestión de las reducciones,
- La compensación de las emisiones de GEI,

- La gestión de la información con su debida documentación y
- La declaración de la carbono neutralidad,

Definiendo en todos estos los responsables de cada etapa.

En cuanto a los procedimientos se definieron 16, de tres tipos: emisiones, remociones y control y seguimiento, en el Cuadro 5.24 se menciona cada uno con su respectivo código y nombre, además en el Apéndice 5 se muestra a modo de ejemplo el P-01-SCN-TEC.

Cuadro 5.23. Lista de procedimientos desarrollados en el 2017 como parte del Sistema de Gestión para la Carbono Neutralidad

Clasificación	Código	Nombre
Emisiones	P-01-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al consumo de electricidad. V-01
	P-02-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a los viajes aéreos. V-01
	P-03-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al consumo de combustible. V-01
	P-03-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al consumo de combustible. V-02
	P-04-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a la generación de residuos sólidos ordinarios no valorizables. V-01
	P-05-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones por la generación de aguas residuales. V-01
	P-06-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al uso de refrigerantes. V-01
	P-07-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al uso de extintores. V-01
	P-08-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido a la aplicación de agroquímicos. V-01
P-09-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación de emisiones debido al uso de lubricantes. V-01	
Remociones	P-10-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación remociones de CO ₂ por la cobertura bosque natural. V-01
	P-11-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación remociones de CO ₂ por la cobertura plantaciones forestales. V-01
	P-12-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación remociones de CO ₂ por la plantación dendroenergética de Eucalyptus tereticornis. V-01
	P-13-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación remociones de CO ₂ por las cortinas rompevientos. V-01
	P-14-SCN-TEC	Procedimiento para la cuantificación remociones de CO ₂ por los árboles dispersos. V-01
Control y seguimiento	P-15-SCN-TEC	Procedimiento para el desarrollo de auditorías internas. V-01
	P-16-SCN-TEC	Procedimiento para el tratamiento de no conformidades, acciones correctivas y preventivas. V-01

En cuanto a los registros y formatos de estos, se elaboraron dependiendo de las necesidades de cada colaborador esto con el fin de que su implementación fuera más sencilla y que no diera la duplicidad de funciones. En el Cuadro 5.25 se presenta la lista de los 34 registros

implementados durante el 2017, la lista de formatos es similar a esta, sin embargo contiene el formato de registro de no conformidades, en el Apéndice 6 se presenta a modo de ejemplo el registro R-01-SCN-TEC.

Cuadro 5.24. Lista de registros implementados durante el 2017 como parte del Sistema de Gestión para la Carbono Neutralidad

Código	Nombre
R-01-SCN-TEC	Registro consumo de combustible equipo especial. V-01. 2017
R-02-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible de plantas generadoras de electricidad. V-01. 2017
R-03-SCN-TEC	Registro de cantidad de residuos sólidos no valorizables. V-01. 2017
R-04-SCN-TEC	Registro de consumo de electricidad. V-01. 2017
R-05-SCN-TEC	Registro de consumo de gas LP. V-01.2017
R-06-SCN-TEC	Registro de emisiones de viajes aéreos. V-01.2017
R-07-SCN-TEC	Registro de aplicación de agroquímicos, DAM. V-01. 2017
R-08-SCN-TEC	Registro de aplicación de agroquímicos, Plantaciones Dendroenergéticas. V-01. 2017
R-09-SCN-TEC	Registro de aplicación de agroquímicos, Agronegocios. V-01. 2017
R-10-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible maquinaria, Agronegocios. V-01. 2017
R-11-SCN-TEC	Registro de remociones de CO ₂ por Plantaciones Forestales. V-01. 2017
R-12-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible de equipo especial, Forestal. V-01. 2017
R-13-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible de equipo especial, Agrícola. V-01. 2017
R-14-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible en caldera, Agronegocios. V-01. 2017
R-15-SCN-TEC	Registro de aplicación de agroquímicos, Agrícola. V-01. 2017
R-16-SCN-TEC	Registro de aplicación agroquímicos, Vivero Forestal. V-01. 2017
R-17-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible en caldera, Electromecánica. V-01. 2017
R-18-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible de la flotilla institucional. V-01. 2017
R-19-SCN-TEC	Registro de descargas de extintores. V-01. 2017
R-20-SCN-TEC	Registro generación de aguas residuales. V-01. 2017
R-21-SCN-TEC	Registro de recargas de refrigerantes. V-01. 2017
R-22-SCN-TEC	Registro de uso de lubricantes, DAM. V-01.2017
R-23-SCN-TEC	Registro de uso de lubricantes, Unidad de Transportes. V-01.2017
R-24-SCN-TEC	Registro de uso de lubricantes, Ingeniería forestal. V-01. 2017
R-25-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible de equipo especial, Unidad de Conserjería. V-01. 2017
R-26-SCN-TEC	Registro de remociones de CO ₂ por Bosque Natural. V-01.2017
R-27-SCN-TEC	Registro de remociones de CO ₂ por Eucalyptus tereticornis. V-01.2017
R-28-SCN-TEC	Registro de remociones de CO ₂ por cortinas rompe vientos. V-01.2017
R-29-SCN-TEC	Registro de remociones de CO ₂ por árboles dispersos. V-01.2017
R-30-SCN-TEC	Registro de consumo de acetileno y dióxido de carbono. V-01.2017
R-31-SCN-TEC	Registro de uso de lubricantes, Ingeniería Agrícola. V-01.2017
R-32-SCN-TEC	Registro de uso de lubricantes, CIB. V-01.2017
R-33-SCN-TEC	Registro de consumo de combustible de maquinaria sin departamento. V-01.2017
R-34-SCN-TEC	Registro de uso de lubricantes. V-01.2017

Tanto los procedimientos como los registros y los formatos se encuentran en las listas maestras correspondientes, las cuales tienen como objetivo la localización eficiente de dichos documentos asegurando la trazabilidad de estos.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el inventario de emisiones realizado se tomó en cuenta las fuentes de emisión correspondientes a los tres alcances, lo cual denota alta responsabilidad ambiental por parte del ITCR y una cobertura significativa de sus emisiones, ya que el 50% de estas pertenecen a otras emisiones indirectas, un 34% a las directas y un 16% a las indirectas.
- El total del inventario de emisiones de GEI es de 1301,15 toneladas de CO₂e con una incertidumbre del 1.28%, que se traduce en un valor per cápita de 0,14 toneladas de CO₂e el cual es bastante cercano a los reportados por la Universidad Nacional de Costa Rica en el 2014.
- Para neutralizar el periodo del 2017 se debe compensar un total de 1301,15 toneladas de CO₂e lo que significa el total del inventario de emisiones de GEI, esto debido a que al coincidir el año de reporte con el año base las reducciones ya son consideradas en el inventario, se recomienda impulsar las acciones planteadas para la disminución de las emisiones logrando de este modo que el porcentaje de compensaciones se reduzca año con año.
- El total de toneladas de CO₂e a compensar equivale a aproximadamente a una inversión \$8060 por concepto de compra de certificados de carbono mediante lo establecido por la FONAFIFO. Se recomienda que en cuanto se cuenten con los medios necesarios a nivel nacional, para compensar mediante financiamiento de proyectos de reducción de emisiones se valore la inclusión de esta metodología de compensación.
- Se desarrolló un Plan de Gestión de las Reducciones con un periodo de implementación de 5 años y que abarca las fuentes de consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles y generación de residuos sólidos. Se recomienda el apego a dicho plan para incrementar la reducción de CO₂e, además de su revisión anual para la actualización del cumplimiento.
- Las reducciones estimadas para el 2017 son de 1,69 toneladas de CO₂e, lo cual es una proporción minoritaria respecto al total del inventario de emisiones de GEI, se recomienda buscar metodologías de cuantificación que permitan contemplar todas las acciones realizadas.

- Se desarrollaron procedimientos para las fuentes de emisión identificadas los cuales cumplen con el objetivo de sistematizar la información ya sea mediante el uso de software o registros manuales y de generar trazabilidad de esta. Se recomienda realizar una auditoría interna apegándose al procedimiento correspondiente con el fin de identificar oportunidades de mejora, lograr una mayor exactitud en los datos e identificar no conformidades antes de ser verificados por un tercero.
- El SGCN se considera robusto, se recomienda apegarse a las revisiones anuales para involucrar a este en la mejora continua de manera que los procesos sean más sistemáticos cada vez. Además, se recomienda adaptar el software de registro de combustible a las demás fuentes y actividades de emisión para lograr una gestión de la información más eficiente, que además integre la recopilación de las evidencias de manera digital.
- Para el correcto funcionamiento de este SGCN se recomienda el aumento del recurso humano en la GASEL, debido a que con el actual no es posible desarrollar todas las tareas pertinentes al seguimiento de indicadores, inventario de emisiones y remociones de GEI, generación de informes, trazabilidad de datos y continuidad del plan de gestión de las reducciones.

7 REFERENCIAS

- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2012). Acuerdo -36-2012- MINAET. *La Gaceta*, 42–47.
- Boada, A. (2003). *Empresa y Medio Ambiente un enfoque de sostenibilidad*.
- Calderon, S. (2017). *Evaluación de la gestión de residuos sólidos ordinarios en la Sede Central del Tecnológico de Costa Rica*.
- Chavarría, F., Molina, Ó. M., Gamboa, R., & Rodríguez, J. (2016). Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014. Rumbo a la carbono neutralidad. *Uniciencia*, 30(2), 47. <https://doi.org/10.15359/ru.30-2.4>
- Ciumasu, I. M., Costica, M., Secu, C. V., Gurjar, B. R., & Ojha, C. S. P. (2013). Adapting to Climate Change : Technologies , Perceptions , Education , and Perspectives. In *Climate Change Modeling, Mitigation and Adaptation* (pp. 496–518).
- de Toro, A., Gomera, A., Aguilar, J., Guijarro, C., Antúnez, M., & Vaquero, M. (2016). La huella de carbono de la Universidad de Córdoba.
- Dhillon, G. S., Ajila, C. M., Kaur, S., Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2013). Greenhouse Gas Contribution on Climate Change. In *Climate Change Modeling, Mitigation and Adaptation* (pp. 26–61).
- Díaz, F. (2015). Medición Huella de Carbono FCFM, 0–7.
- Dirección de Cambio Climático, MINAE. (2017). Programa País Carbono Neutral 2.0. San José.
- FONAFIFO. (2017). Mercado de carbono en Costa Rica. Retrieved from <http://www.fonafifo.go.cr/inversiones/proyectos.html>
- Gevorkian, P. (2010). Carbon dioxide sequestration and carbon trading economics. In *Alternative Energy Systems in Building Design*.
- Gurjar, B. ., Ojha, C. S. ., Surampalli, R. Y., Walvekar, P. ., & Tyagi, V. (2013). Greenhouse Gas Emissions and Climate Change: An Overview. In *Climate Change Modeling, Mitigation and Adaptation* (pp. 9–25). https://doi.org/10.1007/978-3-319-32059-5_1
- Hermosilla, A. (2014). Huella de Carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena : En Busca de la Ecoeficiencia.
- Hernández, E., Cano, C., & Correa, A. (2015). La Huella Ecológica de la Universidad de Valladolid.

- Ilinitch, A. Y., Soderstrom, N. S., & E. Thomas, T. (1998). Measuring corporate environmental performance. *Journal of Accounting and Public Policy*, 17(4–5), 383–408. [https://doi.org/10.1016/S0278-4254\(98\)10012-1](https://doi.org/10.1016/S0278-4254(98)10012-1)
- IMN. (2017). Costa Rica - Programa de cambio climático. Retrieved from <http://cglobal.imn.ac.cr/factores-de-emision-de-gases-de-efecto-invernadero>
- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2017a). *Plan Estratégico 2017-2021*.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2017b). TEC recibe Bandera Azul Ecológica en categoría Centros Educativos. Retrieved from <https://www.tec.ac.cr/tec-recibe-bandera-azul-ecologica-categoria-centros-educativos>
- INTECO. ISO 14064-1:2006 Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse emissions and removals (2006).
- INTECO. (2016). INTE 12-01-06:2016 Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Requisitos., 1–27.
- IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: the physical science basis. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 446(7137), 727–8. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- Jara, C. (2010). *Alternativas para la reducción de emisiones de CO2 del sector doméstico del municipio de Santa María de Palautordera*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Mathur, M., & Awasthi, S. (2016). Carbon neutral village/cluster: A conceptual framework for envisioning. *Current Science*, 110(7), 1208–1215.
- Meyer, M. D., & Weigel, B. (2011). Climate Change and Transportation Engineering: Preparing for a Sustainable Future. *Journal of Transportation Engineering*, 137(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE)
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2017). Programa País Carbono Neutralidad 2.0.
- Ministerio de Ambiente y Energía, & Instituto Meteorológico Nacional. (2015). Informe bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Informe Bienal de Actualización Ante La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mora, K. (2017). Otorgan calificación máxima a la calidad ambiental del TEC. *Hoy En El*

- TEC. Retrieved from <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2017/01/31/otorgan-calificacion-maxima-calidad-ambiental-tec>
- Rey, C. (2008). *Sistemas de Gestión Ambiental. Norma ISO 14001 y Reglamento EMAS.*
- Rodas, S. (2014). *Estimación y gestión de la huella de carbono del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar.*
- Rodríguez, A., Salazar, T., & Venegas, M. (2015). Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero: un insumo en la gestión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 21. Retrieved from <http://bbibliograficas.ucc.edu.co:2068/docview/1694861947/7818CF320E154F5EPQ/140?accountid=44394%0A>
- Rojas, J. (2014). Residuos sólidos y calentamiento global – Parte 1. *CEGESTi*, (254), 1–3.
- Rojas, P. (2011). La compensación de emisiones y los mercados de carbono, (145).
- Schmidt, J.-S., & Osebold, R. (2017). Environmental management systems as a driver for sustainability: state of implementation, benefits and barriers in German construction companies. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(1), 150–162. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.946441>
- SESLab. (2016). *Resumen de Resultados Diagnóstico Energético para el Campus Central y Centro Académico San José.*
- Shepherd, J. M. (2011). Carbon, climate change, and controversy. *Animal Frontiers*, 1(1), 5–13. <https://doi.org/10.2527/af.2011-0001>
- Useros, J. (2014). El cambio climático y sus efectos sobre la salud humana.
- Vargas, A., Mena, A., & Yáñez, A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*, 5–18.
- Vásquez, L., Iriarte, A., Almeida, M., & Villalobos, P. (2015). Evaluation of greenhouse gas emissions and proposals for their reduction at a university campus in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 108, 924–930. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.073>
- World Business Council for Sustainable Development, & World Resources Institute. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.* <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>

APÉNDICES

APÉNDICE 1. INVENTARIO DE FLOTILLA VEHICULAR

Cuadro A.1.1. Inventario de flotilla vehicular institucional

Código gobierno	Numero placa	Marca	Tipo de vehículo	Año-modelo	Tipo combustible	Dependencia asignada
265	89	Toyota	Doble	1991	Diésel	Unidad de transportes
265	90	Toyota	Doble	1991	Diésel	Unidad de transportes
265	93	Toyota	Doble	1991	Diésel	Unidad de transportes
265	95	Toyota	Doble	1991	Diésel	Unidad de transportes
265	101	Toyota	Pick-up	1993	Diésel	Unidad de conserjería
265	102	Toyota	Pick-up	1993	Diésel	Departamento de aprovisionamiento
265	107	Ford ranger	Pick up	1994	Gasolina	Ingeniería forestal
265	111	Toyota hi lux	Pick up	1995	Diésel	Ingeniería forestal
265	114	Toyota	Camión	1997	Diésel	Unidad de transportes
265	130	Toyota	Automóvil	2001	Gasolina	Editorial tecnológica
265	134	Toyota hi lux	Pick up	1996	Diésel	Ingeniería forestal
265	135	Toyota hi lux	Pick up	2003	Diésel	Ingeniería forestal
265	136	Toyota corolla	Automóvil	2003	Gasolina	Ingeniería forestal
265	137	Yamaha	Cuadriciclo	2000	Gasolina	Ingeniería forestal
265	139	Honda	Montañera	2004	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	140	Toyota hi lux	Pick up	1996	Diésel	Ingeniería forestal
265	142	Toyota	Automóvil	2008	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	144	Suzuki	Jeep	1997	Gasolina	Ingeniería forestal
265	145	Toyota	Pick-up	2006	Diésel	Editorial tecnológica
265	149	Yamaha	motocicleta	2007	Gasolina	unidad de seguridad y vigilancia
265	150	Yamaha	motocicleta	2007	Gasolina	unidad de seguridad y vigilancia
265	151	Honda	Vespa	2005	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	155	Toyota	Buseta	2007	Diésel	Unidad de transportes
265	156	Toyota	Buseta	2007	Diésel	Unidad de transportes
265	157	Toyota	Buseta	2007	Diésel	Unidad de transportes
265	160	Toyota	Pick-up	2007	Diésel	Unidad de seguridad y vigilancia
265	162	Yamaha	motocicleta	2008	Gasolina	unidad de seguridad y vigilancia
265	163	Yamaha	motocicleta	2008	Gasolina	unidad de seguridad y vigilancia
265	164	Jeep wrangler	Jeep	1995	Gasolina	Ingeniería forestal
265	165	Ford-	Tractor	1993	Diésel	Ingeniería forestal
265	166	Toyota	Automóvil	2008	Diésel	Unidad de seguridad y vigilancia
265	167	Toyota	Automóvil	2008	Diésel	Unidad de transportes
265	170	Toyota	Pick-up	2008	Diésel	Mantenimiento
265	171	Toyota	Buseta	2008	Diésel	Unidad de transportes
265	172	Toyota	Automóvil	2007	Diésel	Centro de investigación en vivienda y construcción
265	175	Suzuki	Apv	2009	Diésel	Aprovisionamiento
265	176	Honda	Vespa	2008	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	177	Yamaha	Cuadriciclo	2008	Gasolina	Unidad de seguridad y vigilancia
265	179	Mitsubishi	Automóvil	2009	Gasolina	Unidad de transportes
265	181	Mitsubishi	Pick-up	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	182	Mitsubishi	Pick-up	2007	Diésel	Biología
265	183	Mitsubishi	Pick-up	2009	Diésel	Ingeniería forestal
265	185	Mitsubishi	Pick-up	2007	Diésel	Química
265	188	Toyota	Doble	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	189	Toyota	Doble	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	190	Toyota	Doble	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	191	Honda	Montañera	2009	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	194	Suzuki	Apv	2009	Diésel	Unidad de archivo y comunicaciones
265	198	Toyota	Coaster	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	199	Toyota	Automóvil	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	200	Mitsubishi l-200	Pick up	2009	Diésel	Ingeniería forestal
265	201	Toyota	Automóvil	2009	Diésel	Unidad de transportes
265	208	Toyota	Pick-up	2010	Diésel	Conserjería

Código gobierno	Numero placa	Marca	Tipo de vehículo	Año-modelo	Tipo combustible	Dependencia asignada
265	210	Toyota	Pick-up	2010	Diésel	Agrícola
265	211	Toyota	Automóvil	2011	Diésel	Unidad de transportes
265	212	Toyota	Automóvil	2011	Diésel	Unidad de transportes
265	213	Toyota	Doble	2011	Diésel	Unidad de transportes
265	215	Toyota	Pick-up	2011	Diésel	Editorial tecnológica
265	216	Nissan	Automóvil	2011	Gasolina	Unidad de transportes
265	217	Nissan	Auto	2011	Gasolina	Unidad de transportes
265	221	Hyundai	Automóvil	2009	Diésel	Taller de publicaciones
265	222	Mitsubishi l-200	Pick up	2012	Diésel	Ingeniería forestal
265	224	Toyota	Automóvil	2011	Diésel	Unidad de transportes
265	227	Toyota	Coaster	2013	Diésel	Unidad de transportes
265	231	Honda	motocicleta	2014	Gasolina	Unidad de seguridad y vigilancia
265	232	Honda	motocicleta	2014	Gasolina	Unidad de seguridad y vigilancia
265	233	Siriux	Eléctrico	2014	Eléctrico	Mantenimiento
265	234	Siriux	Eléctrico	2014	Eléctrico	Mantenimiento
265	235	Siriux	Eléctrico	2014	Eléctrico	Departamento de aprovisionamiento
265	236	Nissan	Automóvil	2014	Gasolina	Unidad de transportes
265	239	Jeep wrangler	Jeep	1995	Gasolina	Ingeniería forestal
265	240	Honda	Montañera	2015	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	241	Honda	Montañera	2015	Gasolina	Unidad de archivo y comunicaciones
265	242	Toyota	Pick-up	2015	Diésel	Centro de investigación en vivienda y construcción
265	243	Toyota	Doble	2015	Diésel	Centro de investigación en vivienda y construcción
265	245	Toyota	Automóvil	2015	Diésel	Unidad de transportes
265	246	Toyota	Automóvil	2015	Diésel	Unidad de transportes
265	248	Honda	motocicleta	2016	Gasolina	Unidad de seguridad y vigilancia
265	249	Honda	motocicleta	2016	Gasolina	Unidad de seguridad y vigilancia
265	250	Honda	motocicleta	2016	Gasolina	Unidad de seguridad y vigilancia
265	251	Nissan	Pick-up	2017	Diésel	Unidad de seguridad y vigilancia
265	252	Hyundai	Automóvil	2017	Diésel	Unidad de transportes
265	254	Hyundai	Automóvil	2017	Gasolina	Unidad de transportes
265	258	Hyundai	Automóvil	2017	Gasolina	Unidad de transportes
265	260	Hyundai	Automóvil	2017	Gasolina	Unidad de transportes
265	261	Hyundai	Automóvil	2017	Gasolina	Unidad de transportes
	706598	Toyota	Automóvil	2007	Diésel	Unidad de transportes
	Bhl-958	Toyota	Automóvil	2015	Diésel	Rectoría- transportes
	CI-139008	Ford ranger	Pick up	1994	Gasolina	Ingeniería forestal

APÉNDICE 2. INVENTARIO DE MAQUINARIA

Cuadro A.2.1 Inventario de maquinaria

Activo	Tipo de maquinaria	Tipo de Combustible
37112	Motoguadaña Stihl	Gasolina
61142	Motoguadaña Shindaiwa	Gasolina
-	Hidrolavadora OHV	Gasolina
29174	Tractor New Holland	Diésel
41752	Tractor SAME	Diésel
11780	Tractor Goldoni	Diésel
55351	Tractor Kioti	Diésel
14342	Surcador	Gasolina
63747	Picadora	Gasolina
16972	Monocultivador Kukie	Diésel
57830	Monocultivador Chang Jiang	Diésel
63853	Motosierra EC40	Gasolina
38888	Motoguadaña	Gasolina
36834	Motoguadaña	Gasolina
62962	Motosierra telescópica	Gasolina
79161	Picadora de pastos	Gasolina
265-225	Tractor	Diésel
5860	Motosierra Stihl sin paleta	Gasolina
6320	Motosierra Stihl sin paleta	Gasolina
11611	Motosierra Homelite con descortezador	Gasolina
17830	Motosierra Pro Mac sin paleta	Gasolina
25230	Descortezador	Gasolina
28491	Motosierra	Gasolina
38898	Motosierra Husquarna con paleta	Gasolina
40713	Motosierra Husquarna con paleta	Gasolina
40714	Motosierra Husquarna con paleta	Gasolina
46518	Motosierra Husquarna con paleta	Gasolina
54495	Motosierra Husquarna con paleta	Gasolina
54496	Motosierra Husquarna con paleta	Gasolina
58234	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58235	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58236	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58237	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58238	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58239	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58240	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58242	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58243	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58244	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
58245	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina

Activo	Tipo de maquinaria	Tipo de Combustible
58246	Motosierra Husquarna (en caja)	Gasolina
71668	Motosierra con espada Stihl mod. MS-381 SB. 204514	Gasolina
71669	Motosierra con espada Stihl mod. MS-381 SB. 204514	Gasolina
71670	Motosierra con espada Stihl mod. MS-381 SB. 204514	Gasolina
71671	Motosierra con espada Stihl mod. MS-381 SB. 204514	Gasolina
74518	Motosierra Stihl MS 250	Gasolina
74519	Motosierra Stihl MS 250	Gasolina
74520	Motosierra Stihl MS 310	Gasolina
74521	Motosierra Stihl MS 310	Gasolina
FOC 193	Motosierra Oleo Mac con paleta	Gasolina
S/P 1456	Motosierra Stihl sin paleta	Gasolina
265-165	Tractor Agrícola	Diésel
17474	Aserradero Portátil	Gasolina
34873	Motoguaraña	Gasolina
69896	Motoguaraña	Gasolina
32297	Podadora de Ramas	Gasolina
27278	Podadora de Ramas	Gasolina
35920	Podadora de Ramas	Gasolina
23569	Corta setos	Gasolina
34872	Motosierra	Gasolina
26702	Hoyadora	Gasolina

APÉNDICE 3. CANTIDAD DE EXTINTORES

Cuadro A.3.1 Cantidad de extintores por agente

Agente	CO ₂ (lbs.)				Agua (gls.)			P.q.(lbs.)Abc		Halon (lbs.)		Halotrón	K	Total
Capacidad	5	10	15	20	2.5	5	10	20	10	20				
Cantidad	6	232	21	4	182	3	184	3	0	2	4		8	
Total cap.	30	2320	315	80		15	1840	60	0	40				
Total can.		263			182		190		2		4		8	649
Capac. Gral		2745					1915		40					

APÉNDICE 4. PLAN DE GESTIÓN DE LAS REDUCCIONES

Cuadro A.4.1 Plan de Gestión de las Reducciones para la fuente de consumo eléctrico

Objetivo	Meta	Medida	Responsables	Metodología de cuantificación	Indicadores	Métodos de control	Presupuesto	Supuestos
Reducir las emisiones de GEI ocasionadas por el consumo eléctrico en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.	Reducir un 3% (6 toneladas de CO ₂ e) de las emisiones de GEI correspondientes al consumo de electricidad	Instalación de sensores ultrasónicos en aulas y oficinas	GASEL	Las reducciones debidas a las medidas de eficiencia energética se cuantificarán con la disminución en la facturación de la energía eléctrica consumida. Las reducciones en toneladas de dióxido de carbono equivalente se calcularán usando la fórmula de emisión presente en el procedimiento P-01-SCN-TEC, expresadas como emisiones reducidas, teniendo presente que debe restarse lo producido por las instalaciones fotovoltaicas con el fin de calcular únicamente las reducciones por medidas de eficiencia energética, además de evitar una doble cuantificación.	kWh / año	En las reuniones mensuales de la comisión encargada de asuntos ambientales de la institución se dará seguimiento a la implementación y documentación de las medidas aplicadas. Además, siguiendo el procedimiento P-15-SCN-TEC se auditará internamente el cumplimiento de dichas medidas.	₡ 170.000.000	Para el cálculo de las emisiones a reducir, se toma como valor inicial el consumo eléctrico del 2017 y que se logra alcanzar la meta de reducción del 3% de dicho consumo. Es importante aclarar que, por la naturaleza de la Institución, esta se mantiene en constante crecimiento por lo que los consumos de electricidad son variables de un año a otro.
		DAM						
		Instalación de paneles LED en aulas y oficinas	DAM					
		Instalación de sensores de presencia para los aires acondicionados	DAM					
		Implementación de directriz institucional que permita comprar aires acondicionados únicamente de tipo inverter	GASEL VAD Departamento de Aprovisionamiento					

Objetivo	Meta	Medida	Responsables	Metodología de cuantificación	Indicadores	Métodos de control	Presupuesto	Supuestos
Reducir las emisiones de GEI ocasionadas por el consumo eléctrico en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.	Reducir un 3% (6 toneladas de CO2e) de las emisiones de GEI correspondientes al consumo de electricidad	Implementación de directriz institucional que permita la instalación de aires acondicionados únicamente en laboratorios y auditorios	GASEL	Las reducciones debidas a las medidas de eficiencia energética se cuantificarán con la disminución en la facturación de la energía eléctrica consumida. Las reducciones en toneladas de dióxido de carbono equivalente se calcularán usando la fórmula de emisión presente en el procedimiento P-01-SCN-TEC, expresadas como emisiones reducidas, teniendo presente que debe restarse lo producido por las instalaciones fotovoltaicas con el fin de calcular únicamente las reducciones por medidas de eficiencia energética, además de evitar una doble cuantificación.	kWh / año	En las reuniones mensuales de la comisión encargada de asuntos ambientales de la institución se dará seguimiento a la implementación y documentación de las medidas aplicadas. Además, siguiendo el procedimiento P-15-SCN-TEC se auditará internamente el cumplimiento de dichas medidas.	₡ 170.000.000	Para el cálculo de las emisiones a reducir, se toma como valor inicial el consumo eléctrico del 2017 y que se logra alcanzar la meta de reducción del 3% de dicho consumo. Es importante aclarar que, por la naturaleza de la Institución, esta se mantiene en constante crecimiento por lo que los consumos de electricidad son variables de un año a otro.
			VAD					
			DAM					
		Implementación de la directriz institucional de compra de aires acondicionados que utilicen refrigerante R410 o en si defecto el de menor impacto ambiental	GASEL					
			VAD					
			Departamento de Aprovisionamiento					
		Implementación de directriz institucional que permita sustituir la compra de duchas convencionales por calentadores solares	GASEL					
			VAD					
			DAM					

Objetivo	Meta	Medida	Responsables	Metodología de cuantificación	Indicadores	Métodos de control	Presupuesto	Supuestos
Reducir las emisiones de GEI ocasionadas por el consumo eléctrico en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.	Reducir un 3% (6 toneladas de CO2e) de las emisiones de GEI correspondientes al consumo de electricidad	Instalación de techos UPVC en aulas y oficinas	DAM	Las reducciones debidas a las medidas de eficiencia energética se cuantificarán con la disminución en la facturación de la energía eléctrica consumida. Las reducciones en toneladas de dióxido de carbono equivalente se calcularán usando la fórmula de emisión presente en el procedimiento P-01-SCN-TEC, expresadas como emisiones reducidas, teniendo presente que debe restarse lo producido por las instalaciones fotovoltaicas con el fin de calcular únicamente las reducciones por medidas de eficiencia energética, además de evitar una doble cuantificación.	kWh / año	En las reuniones mensuales de la comisión encargada de asuntos ambientales de la institución se dará seguimiento a la implementación y documentación de las medidas aplicadas. Además, siguiendo el procedimiento P-15-SCN-TEC se auditará internamente el cumplimiento de dichas medidas.	₡ 170.000.000	Para el cálculo de las emisiones a reducir, se toma como valor inicial el consumo eléctrico del 2017 y que se logra alcanzar la meta de reducción del 3% de dicho consumo. Es importante aclarar que, por la naturaleza de la Institución, esta se mantiene en constante crecimiento por lo que los consumos de electricidad son variables de un año a otro.
		Instalación de películas de disminución térmica	DAM					
		Sustituir aires acondicionados por sistemas de ventilación forzada	DAM					
		Reemplazo de iluminación a tecnología LED en los lugares faltantes	DAM					
		Sensibilización y educación a la comunidad institucional sobre buenas prácticas de uso eficiente de la energía eléctrica	GASEL					
Incentivo a los funcionarios de la institución mediante el proyecto de Oficinas Consientes	GASEL							

Objetivo	Meta	Medida	Responsables	Metodología de cuantificación	Indicadores	Métodos de control	Presupuesto	Supuestos
Reducir las emisiones de GEI ocasionadas por el consumo eléctrico en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.	Reducir un 25% (51 toneladas de CO ₂ e) de las emisiones de GEI correspondientes al consumo de electricidad	Instalación de Paneles Solares en la Institución	Proyecto Sostenibilidad TEC	Las reducciones debidas a la instalación de paneles fotovoltaicos se cuantificarán mediante los medidores de dichos sistemas. Las reducciones en toneladas de dióxido de carbono equivalente se calcularán usando la fórmula de emisión presente en el procedimiento P-01-SCN-TEC, expresadas como emisiones reducidas.	kWh producidos / año	Se registrará mensualmente la producción de los sistemas fotovoltaicos de la Institución, se auditará internamente el cumplimiento de dichas medidas siguiendo el procedimiento P-15-SCN-TEC.	\$ 1.400.000,00	Para el cálculo de las emisiones a reducir, se toma el dato de producción de los medidores de los sistemas.

Cuadro A.4.2 Cuantificación de las reducciones de la fuente de consumo eléctrico debido a paneles fotovoltaicos

2017						
Metodología			Medios Reales			
<p>Las reducciones debidas a la instalación de paneles fotovoltaicos se cuantifican mediante los medidores de dichos sistemas. Las reducciones en toneladas de dióxido de carbono equivalente se calculan usando la fórmula de emisión presente en el procedimiento P-01-SCN-TEC, expresadas como emisiones reducidas.</p>			<p>El proyecto del Complejo Solar de la Institución es dirigido por la Vicerrectoría de Administración mediante el Laboratorio de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad (SESLab), el cual cuenta con recurso humano técnico para el diseño, control y monitoreo de este proyecto. El financiamiento de la instalación del edificio de rectoría parte de los fondos de la Institución.</p>			
Justificación			Cálculos			
<p>Se emplea la metodología mencionada ya que para el 2017 se cuenta con tres sistemas distintos instalados sobre el techo del edificio de rectoraría, los cuales son: inversor central 6kW, inversor central 10 kW y micro inversores. Los datos de producción de estos son controlados por el SESLab. Estos paneles fotovoltaicos iniciaron a funcionar el 23 de marzo.</p>			Producción de energía anual		Factor de emisión	
			Valor	Unidad	Valor	Unidad
			26810	kWh/año	0,0557	kg CO ₂ /kWh
			CO ₂ Reducido (Ton CO _{2eq} /año)			
			1,49			
			Porcentaje de reducción			
Año base (2017)		Reducción				
Valor	Unidad					
No aplica	Ton CO _{2e} /año	No aplica				
Desempeño						
Población institucional (personas)			Emisiones (TonCO _{2eq} /año)	Cociente productividad/eficiencia (Ton CO _{2eq} /año/personas)		
Estudiantes	Funcionarios	Total	205,28	Estudiantes	Funcionarios	Total
7646	1483	9129		0,03	0,14	0,02
Observaciones						
<p>Esta cuantificación contempla los paneles fotovoltaicos instalados en el edificio de la rectoría. Las evidencias de dichas mediciones se encuentran archivadas en la carpeta de evidencias de consumo eléctrico del sistema de gestión de la Carbono Neutralidad. Para el año 2017, no se calculan reducciones sobre el año base, esto debido a que es el mismo que el año en reporte. La energía producida representa emisiones evitadas.</p>						
Dirección de la evidencia						
CarbonoNeutro/Evidencias/Reducciones/ConsumoEléctrico						

APÉNDICE 5. PROCEDIMIENTO PARA CUANTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DEBIDO AL CONSUMO ELÉCTRICO



**VICERRECTORÍA DE ADMINISTRACIÓN
UNIDAD INSTITUCIONAL DE GESTIÓN
AMBIENTAL Y SEGURIDAD LABORAL**

**PROCEDIMIENTO PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DEBIDO
AL CONSUMO DE ELECTRICIDAD**

Código:	Versión:	Páginas:
P-01-SCN-TEC	02	116
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Ing. Alina Rodríguez Regente Ambiental	Ing. Andrés Robles GASEL	Dr. Humberto Villalta Vicerrector de Administración
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Abril 2018	Abril 2018	Abril 2018
Firma:	Firma:	Firma:

CONTROL DE CAMBIOS

Fecha:	Cambio realizado	Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Firma:

OBJETIVO

Cuantificar las emisiones de gases con efecto invernadero generadas por el consumo eléctrico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.

ALCANCE

Aplica para la cuantificación de emisiones de gases con efecto invernadero debidas al consumo eléctrico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Central.

DOCUMENTOS RELACIONADOS

- R-04-SCN-TEC Consumo de Electricidad.
- Factores de emisión gases efecto invernadero del IMN

RESPONSABLES

- Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

- Cada trimestre se le solicita al Departamento Financiero Contable la lista de los medidores que cancela el ITCR tanto de JASEC como del ICE.
- Cada trimestre se le solicitan por correo electrónico las facturas digitales de consumo eléctrico a la empresa JASEC y al ICE.
- Se archivan las facturas digitales en la carpeta correspondiente a las evidencias del indicador de consumo eléctrico.
- Se registran los datos de consumo de todos los medidores existentes en el registro código R-04-SCN-TEC.
- Se calculan las emisiones de CO₂ equivalente utilizando la siguiente fórmula:

Dióxido de carbono equivalente:

$$CO_2eq = \sum_{mes=1}^{mes=12} \frac{Consumo(kWh)}{mes} * FE_{CO_2} * PC_{CO_2} * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$CO_2eq =$ Dióxido de carbono equivalente $\left(\frac{Ton}{año}\right)$

$FE_{CO_2} =$ Factor de emisión de CO₂ del consumo eléctrico $\left(\frac{kgCO_2eq}{kWh}\right)$

$PC_{CO_2} =$ Potencial de calentamiento global

**APÉNDICE 6. REGISTRO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EQUIPO
ESPECIAL DEL DAM**

Cuadro A.6.1 Registro de consumo de combustible en equipo especial del DAM

			Registro de consumo de combustible de equipo especial	Código: R-01-SCN-TEC	
Nombre y fecha de Elaboración:			Nombre y fecha de Aprobación:	Vigente desde: 01/enero/2017	
Encargado de Gestión Ambiental, enero 2017			Vicerrector de administración, enero 2017	Página de	Versión: 01
Fecha	Cantidad (Galones)		Equipo	Nombre del funcionario	Firma del funcionario
	Gasolina	Diésel			
13-2-2017	0	5	Antonio Carrero	Manuel Brenes	
13-2-2017	0	15	Mini Cargador	Carlos Solano	
16-2-2017	2	0	Shindaiwa	Jorge Molino	
16-2-2017	0	8	Zeta Master	Jaime Sanabria	
17-2-2017	0	15	Tractor John Deere	Mauricio Sandoval	
20-2-2017	1	0	Planta Emergencia	Manuel Brenes	
20-2-2017	2	0	Shindaiwa	Edwin Arce	
21-2-2017	0	10	Tractor Fiat	Mauricio Sandoval	
21-2-2017	1	0	Shindaiwa	Orlando Sanchez	
27-2-2017	1	0	Shindaiwa	Jorge Molino	
28-2-2017	2	0	Shindaiwa	Orlando Sanchez	
28-2-2017	0	8	Zeta Master	Jaime Sanabria	

ANEXOS

ANEXO 1: INFORME DE REMOCIONES DE GEI

REMOCIÓN DE CO₂ POR COBERTURA DE ÁRBOLES DISPERSOS, CORTINAS ROMPEVIENTOS, PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL EN EL CAMPUS CENTRAL-TEC

Tecnológico de Costa Rica

Estephanie Robles Cordero

Priscilla Solano Solano

Introducción

El Tecnológico de Costa Rica tiene como objetivo obtener la certificación de carbono neutralidad, y de ahí nace la necesidad de calcular cuánto es la remoción de CO₂ (IR CO₂) de la cobertura arbórea presente en la sede central. En el año 2016 se realizó un muestreo georreferenciando las parcelas establecidas, para evaluar la condición del terreno y su cobertura, de forma que se pudiera establecer un estudio de los tipos de coberturas presentes, su extensión y localización dentro del campus, además de otra información relevante para el cálculo anual de la biomasa viva y el dióxido de carbono contenidos por la masa forestal.

En el año 2017 se hizo el muestreo con base en el inventario exploratorio realizado el año anterior, por lo que a partir de ese año la muestra es representativa según categoría realizada: bosque secundario (BS), plantaciones forestales (PLF), cortinas rompevientos (CR) y árboles dispersos (D) (anexos 6 y 7), así como por estratificación necesaria (Anexo 5): por especie o por tipo de bosque (clase diamétrica), además se georreferencian las unidades muestrales según cobertura y su respectivo procedimiento, con un punto de GPS (anexos 1, 2, 3 y 4). Gracias a la colaboración del Plan de Delimitación y Gestión de Áreas de Conservación del Campus Central-TEC se pudo predecir los sitios donde pueden realizarse más unidades de muestreo, en caso de ser necesario; además, se toma en cuenta la información sobre la edad de las plantaciones a través de entrevistas realizadas a los funcionarios de la Escuela de Ingeniería forestal, para finalmente obtener la remoción de CO₂ (IR CO₂) para el año 2017, en caso de bosque, se obtiene información de edad por cobertura para calcular la remoción de CO₂ (IR CO₂) (al igual que en plantaciones) para el año 2017, y en caso de árboles dispersos y cortinas rompevientos se obtiene la remoción de 2016-2017.

El fin es que se logre un continuo monitoreo para la obtención de información confiable, de cómo se comportan las coberturas, el impacto que sufren ante fenómenos climáticos, el cambio en densidad que estas sufren a través del tiempo y su efecto en la biomasa y carbono.

Metodología

Calculo de datos de remoción 2016-2017

Se siguió los procedimientos P-10-SCN-TEC, P-11-SCN-TEC, P-12-SCN-TEC, P-13-SCN-TEC se y P-14-SCN-TEC según categoría y según cobertura para el periodo 2017-2018. Para realizar las cifras aproximadas de lo removido en el periodo 2016-2017 se siguió el siguiente procedimiento según categoría:

Bosque secundario (BS): en el año 2016 se realizaron 4 parcelas exploratorias, las cuales permiten obtener información preliminar para la estratificación de la cobertura, es importante mencionar que se estableció el muestreo mediante parcelas temporales de muestreo. Para el año 2017 se muestrea el área de la cobertura y se estratifica Regeneración (RG) y Ninfas y Toyogres (BSNT). Se realizó el análisis de datos según lo planteado en los procedimientos P-10-SCN-TEC.

Cortinas rompevientos (CR): se eliminó de la base de datos los árboles muertos y se tomó en cuenta los ingresos registrados al final del año 2017, seguidamente se analizaron los datos según lo planteado en los procedimientos P-13-SCN-TEC. Se utiliza la información generada en el año 2016 y se estratifican las cortinas para el 2017 en *Cupressus lusitánica* (CP), *Casuarina equisetifolia* (C) y por facilidad en el cálculo de estadísticos se estratifica la cortina Mixta (*Pinus caribaea*, *Casuarina equisetifolia* y *Eucalyptus saligna*) y *Fraxinus uhdei* juntas (MX); y se determina la remoción de CO₂ (IR CO₂) para el año 2017 por estratificación mediante los datos de la edad de las especies.

Plantaciones forestales (PLF): En el año 2016 se realizaron 8 parcelas exploratorias en plantaciones forestales, las cuales sirven para estratificar la cobertura por especie *Fraxinus uhdei* (FX), *Pinus caribaea* (PN), por facilidad en el cálculo de estadísticos se estratifica la parcela Mixta (*Cupressus lusitánica* y *Casuarina equisetifolia*) y la parcela de *Cupressus lusitánica* juntas (CE) y *Eucalyptus tereticornis* (ET); y se calcula la remoción de CO₂ (IR CO₂) para el año 2017 mediante el uso de la edad de las plantaciones. Se realizó el análisis de datos según lo planteado en los procedimientos P-11-SCN-TEC para el caso de FX, PN,

CE; y para el caso de las plantaciones de *Eucalyptus tereticornis* se sigue el procedimiento P-12-SCN-TEC.

Árboles dispersos (D): no se eliminó de la base de datos los árboles muertos y se tomó en cuenta los ingresos registrados al final del año 2017, seguidamente se analizaron los datos según lo planteado en los procedimientos P-14-SCN-TEC. Se determina la remoción de CO₂ (IR CO₂) para el año 2016-2017.

Cálculo de remociones para periodos 2017-2018 y posteriores

A partir de la experiencia del muestreo realizado en el 2016 se categorizaron las coberturas y estas se estratificaron cuando fue necesario. A continuación, se presenta un Cuadro explicativo-descriptivo de cada categoría y su estratificación.

Categoría	Descripción
Bosque secundario (BS)	<p>Se define como un "aquella vegetación leñosa que crece en tierras abandonadas, después de que su vegetación original fue destruida por la actividad humana" (Ford-Robertson, 1971; Finegan, 1992, citado por Louman et al., 2001).</p> <p>Las mediciones se realizaron en parcelas de 200 m² con árboles de diámetro a altura de pecho \geq a los 5 cm.</p> <p>En total el Campus Central cuenta con 16,1 ha de bosque natural; sin embargo, no todo el terreno se encuentra en las mismas condiciones por lo que se decidió estratificar según categorías diamétricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Regeneración (RG): bosque en el cual los árboles presentes en la unidad muestral tuvieran un promedio de diámetro menor a 8 cm. Tiene una extensión de 3,2 ha, con una edad de 5 años. – Ninfas y Toyogres (BSNT): bosque natural con promedio de diámetro mayor a 8 cm. Corresponden 12,9 ha del total del bosque natural del Campus, con una edad de 15 años.
Plantaciones forestales (PLF)	Según las Directrices del IPCC (Aalde, H. et al., 2006b) una plantación forestal se define como "arboledas forestales creadas mediante plantación y/o sembrado en procesos de

repoblación forestal o reforestación. Son de especies introducidas (todas arboledas plantadas) o arboledas de especies autóctonas bajo gestión intensiva, que cumplan con los siguientes criterios: una o dos especies en la plantación, incluso clase etérea, y espaciado regular".

Para homogenización en el análisis de datos se decidió estratificar por especie:

- FX: áreas con árboles de nombre científico *Fraxinus uhdei*, corresponden a 0,40 ha de extensión total en el Campus, con una edad de 36 años.
- PN: áreas con árboles de nombre científico *Pinus caribaea*, corresponden a 1,00 ha de extensión total en el Campus, con una edad de 39 años.
- CE: la cual corresponde a la unión de la parcela Mixta (clasificada de esta manera por ser la única con dos especies presentes) con árboles de nombre científico *Casuarina equisetifolia* y *Eucalyptus saligna*, y corresponden a 0,30 ha de extensión total en el Campus, con una edad de 39 años.; con la parcela de *Cupressus lusitánica* la cual solo contiene árboles de la especie antes mencionada, con una extensión total de 0,50 ha en el Campus, con una edad de 37 años.
- ET: áreas con árboles de nombre científico *Eucalyptus tereticornis*, que corresponden a 3,7 ha de extensión total en el Campus, con una edad de 2 años.

Cortinas (CR)	rompevientos	<p>Se encuentra dentro de la clase <i>otras tierras con cobertura arbórea</i>, del Cuadro 4.2 Clases de bosques y cobertura de la tierra, de las Directrices del IPCC (Aalde, H. et al., 2006b). Corresponden a grupo de árboles distribuidos de forma lineal o similar cuya copa frondosa sirve para detener el paso directo del viento.</p> <p>En el Campus hay 0,1485 ha correspondiente a esta categoría.</p> <p>Para homogenización en el análisis de datos se decidió estratificar por especie:</p>
------------------	--------------	---

- CP: cortina con árboles de nombre científico *Cupressus lusitanica*, son 3 cortinas que contienen 157 árboles en total, de esta especie. Corresponden a las cortinas C1, C10 y C11, con una edad de 37 años con 0,04 ha.
- C: cortina con árboles de nombre científico *Casuarina equisetifolia*, son 5 cortinas que contienen 352 árboles en total, de esta especie. Corresponden a las cortinas C2, C4, C5, C7 y C9. Además, la edad de la cortina es de 39 años, con 0,04 ha.
- MX: clasificación con la mezcla de tres cortinas con 0,06 ha en total, que a continuación se describen:
 - C3, con árboles de nombre científico *Fraxinus uhdei*, la cortina contiene 26 árboles en total, de esta especie, con una edad de 36 años y 0,01 ha.
 - Mixtas, clasificadas de esta manera por tener varias especies presentes, son dos cortinas con 218 árboles en total y 0,05 ha en total:
 - o C6, con árboles de nombre científico *Casuarina equisetifolia* (39 años) y *Cupressus lusitanica* (37 años), con 0,03 ha en total.
 - o C8, con árboles de nombre científico *Eucalyptus saligna* y *Casuarina equisetifolia*, con 39 años y 0,02 ha.

Árboles dispersos (D)

Se encuentra dentro de la clase *otras tierras con cobertura arbórea*, del Cuadro 4.2 Clases de bosques y cobertura de la tierra, de las Directrices del IPCC (Aalde, H. et al., 2006b). Son árboles aislados en el Campus producto de remanentes de bosque que pudieron quedarse durante la construcción de edificios o limpiezas de sitios.

Hay un total de 1284 árboles dispersos alrededor del Campus que corresponden a un aproximado de 31 especies arbóreas distintas, muestreados por medio del método de árboles individuales, bajo una muestra de 65 individuos, con 41,95 ha y sectorizado de la siguiente manera (Anexo 8):

Código estrato	Área (ha)
-------------------	-----------

S1	2,47
S2	1,70
S3	3,40
S4	2,71
S5	8,59
S7	10,56
S8	8,41
S9	4,11

Resultados

Remociones 2016-2017

Cuadro 1. Registro de las remociones 2017 para la cobertura de Bosque secundario (BS), por estrato definido en el Campus Central-TEC, Cartago.

Código estrato	Área (ha)	Biomasa viva por hectárea (tons Bs/ha)	Dióxido de carbono promedio (tons CO ₂ /ha)	Dióxido de carbono total (tons CO ₂ /ha)	IR CO ₂	IR CO ₂ total
BSNT	12,6	449,72	50,26	633,29	14,03	176,76
RG	3,5	100,80	28,16	98,57	10,60	37,10
Total	16,10	550,52	78,42	731,86	24,63	213,86

Cuadro 2. Estadísticos calculados sobre los registros de remociones 2017 de la biomasa viva promedio (tons Bs/ha), de la cobertura de Bosque secundario (BS), del Campus Central-TEC.

Estrato/ Estadísticos	Desviación estándar	Error de muestreo (95%)	LI (95%)	LS (95%)
BSNT	24,22	59,60	20,31	80,22
RG	32,79	581,26	-242,55	343,34

Cuadro 3. Registro de las remociones 2017 para la cobertura de Plantación forestal (PLF), por estrato definido en el Campus Central-TEC, Cartago.

Código estrato	Área (ha)	Biomasa viva promedio (tons Bs/ha)	Biomasa a viva total (tons Bs/ha)	Dióxido de carbono promedio (tons CO ₂ /ha)	Dióxido de carbono total (tons CO ₂ /ha)	IR CO ₂	IR CO ₂ Total
FX	0,40	1759,32	703,73	983,11	393,24	27,31	10,92
PN	1,00	941,56	941,56	526,14	526,14	13,49	13,49
CE	0,80	2168,01	1734,41	1211,48	969,19	31,35	25,08
ET	3,70	0,000259	0,000957	0,000154	0,000571	0,000077	0,000286
Total	5,90	4868,89	3379,69	2720,74	1888,57	72,15	49,50

Cuadro 4. Estadísticos calculados sobre los registros de remociones 2017 de la biomasa viva promedio (tons Bs/ha), de la cobertura de Plantaciones forestales (PLF) del Campus Central-TEC.

Estrato/Estadísticos	Desviación estándar	Error de muestreo (95%)	LI (95%)	LS (95%)
FX	504,2875	65,6474	604,3724	2914,2731
PN	308,5389	38,6001	578,1147	1304,9989
CE	2017,5142	814,9257	-15499,6593	19835,6788
ET	0,000062	59,14	0,000106	0,000411

Cuadro 5. Registro de las remociones 2017, para la cobertura de Cortinas rompevientos (CR), por estrato definido en el Campus Central-TEC, Cartago.

Código estrato	Área (ha)	Biomasa viva por hectárea (tons Bs/ha)	Dióxido de carbono promedio (tons CO ₂ /ha)	Dióxido de carbono total (tons CO ₂ /ha)	IR CO ₂	IR CO ₂ total
CP	0,04	172,27	96,26	4,09	9,54	0,41
C	0,04	323,49	180,76	8,01	16,99	0,75
MX	0,06	258,51	144,45	8,91	13,82	0,85
Total	0,15	754,26	421,48	21,01	40,35	2,01

Cuadro 6. Registro de las remociones 2016-2017, para la cobertura de Árboles dispersos (D), por sector definido en el Campus Central-TEC, Cartago.

Código estrato	Área (ha)	Biomasa viva por hectárea (tons Bs/ha)	Carbono promedio por hectárea de a biomasa viva (tons C/ha)¹	Carbono total en el estrato (tons C)²	IR CO₂	IR CO₂ Total
S1	2,47	3,34	1,87	4,61	2,31	5,71
S2	1,70	10,89	6,08	10,36	9,37	15,96
S3	3,40	5,82	3,25	11,04	4,51	15,33
S4	2,71	10,98	6,14	16,65	7,02	19,04
S5	8,59	12,59	7,03	60,40	13,79	118,42
S7	10,56	2,64	1,47	15,56	2,36	24,96
S8	8,41	0,88	0,49	4,15	0,94	7,93
S9	4,11	2,56	1,43	5,87	1,18	4,85
Total	41,95	49,7	27,76	128,64	41,48	212,2

Cuadro 7. Estadísticos calculados sobre los registros de remociones 2016-2017 de la biomasa viva promedio (tons Bs/ha), para la cobertura de Árboles dispersos (D) en el Campus Central-TEC, Cartago.

Estadísticos	Biomasa viva por hectárea (tons Bs/ha)
Desviación estándar	4,60
Error de muestreo (95%)	3,85
LI (95%)	2,37
LS (95%)	10,06

Conclusiones

- La mayoría de la cobertura de regeneración es muy joven, puesto que los diámetros no alcanzan a más de 6 cm de diámetro
- Se continuará con la metodología establecida en los procedimientos P-10-SCN-TEC, P-11-SCN-TEC, P-12-SCN-TEC, P-13-SCN-TEC se y P-14-SCN-TEC; para el cálculo de la remoción del 2017-2018 y las remociones futuras, con la libertad de mejorar la metodología si se considera necesario.
- Los resultados obtenidos para las coberturas de plantaciones y bosque natural son preliminares, y no se recomienda utilizarlos hasta la medición del 2018, para realizar los cálculos con una muestra representativa.
- En la remoción del año 2018, se utilizará las nuevas parcelas permanentes establecidas en diciembre del 2017.

Referencias

- Aalde, H. et al. (2006a). Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. En IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, volumen 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Aalde, H. et al. (2006b). Tierras forestales. En IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, volumen 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Cochran, W.G. (1997). Sampling techniques. Third Ed. New York, John Willey and Sons. 428 p.
- INTECO. (2016). INTE/DN 03:2016. Metodología para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero producto de actividades forestales (1 ed.).
- Louman, B et al. (Eds.) (2001). Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba, CR: CATIE.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). (2014). Manual de campo inventario forestal nacional de Costa Rica: diseño de parcela y medición de variable de sitio y

dasométricas volumen 2. San José, Costa Rica: Programa REDD/CCACD.

Recuperado de <http://www.sirefor.go.cr/?p=1170>

R-26-SCN-TEC Registro de remociones de CO2 por bosque natural.

Sheskin, D. J. (2011). Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures (5 ed.). London, United Kingdom: Chapman and Hall Book. 1886 p.

Anexos

Anexo 1. Datos de ubicación geográfica y estrato de las parcelas de Bosque secundario (BS) en el Campus Central-TEC, Cartago.

Estrato	Parcela	Coordenada X	Coordenada Y
"Ninfas"	1	509948	1088954
	2	509955	1088995
	3	510010	1088989
	4	509812	1090041
	7	510400	1089740
Regeneración	5	510094	1089230
	6	510105	1089227

Anexo 2. Datos de ubicación geográfica de las Plantaciones forestales (PF) por parcela y su especie en el Campus Central-TEC, Cartago.

Especie	Parcela	Coordenada X	Coordenada Y
<i>Fraxinus uhdei</i>	1	509513	1089956
	2	509517	1090005
	8	509526	1089982
<i>Cupressus lusitanica</i>	5	510346	1089233
<i>Pinus caribaea</i>	6	510458	1089500
	7	510422	1089523
	9	510338	1089736
	10	510347	1089685
	11	510374	1089689
<i>Eucalyptus saligna</i> y <i>Casuarina equisetifolia</i>	4	509598	1089376

Anexo 3. Datos de ubicación geográfica por especie de las Cortinas rompe vientos (CR) e información para el diseño de árboles individuales, en el Campus Central-TEC, Cartago.

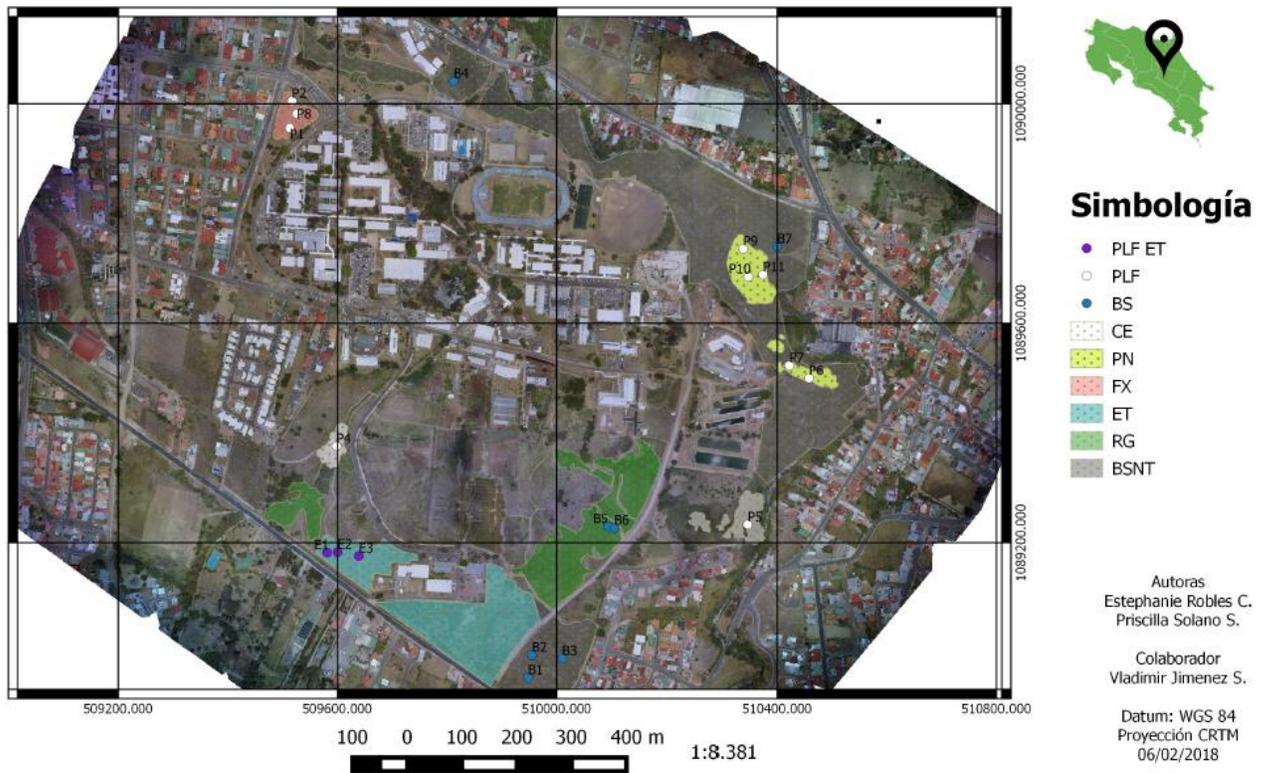
Especie	Cortina	Coordenada		Individuos		Frecuencia	Árboles medidos	Medido el inicio	
		X	Y	Iniciales	Sobrantes				Total
Ciprés	C1	509832	1089362	1	0	61	10	7	X
	C10	510043	1089500	3	2	65	10	6	
	C11	510042	1089454	3	3	26	5	4	
Casuarina	C2	509715	1089526	3	9	62	10	6	X
	C4	509844	1089795	5	1	106	10	11	X
	C5	510029	1089885	6	3	119	10	11	
	C7	509259	1089483	2	0	12	5	3	X
	C9	509767	1089998	4	4	78	10	7	
Freso	C3	509832	1089772	2	4	26	5	5	X
Mixtas	C6	509661	1089988	5	4	129	10	13	X
	C8	509832	1089772	5	4	99	10	9	

Anexo 4. Datos de ubicación geográfica de los Árboles dispersos (D) por placa en el
Campus Central-TEC, Cartago.

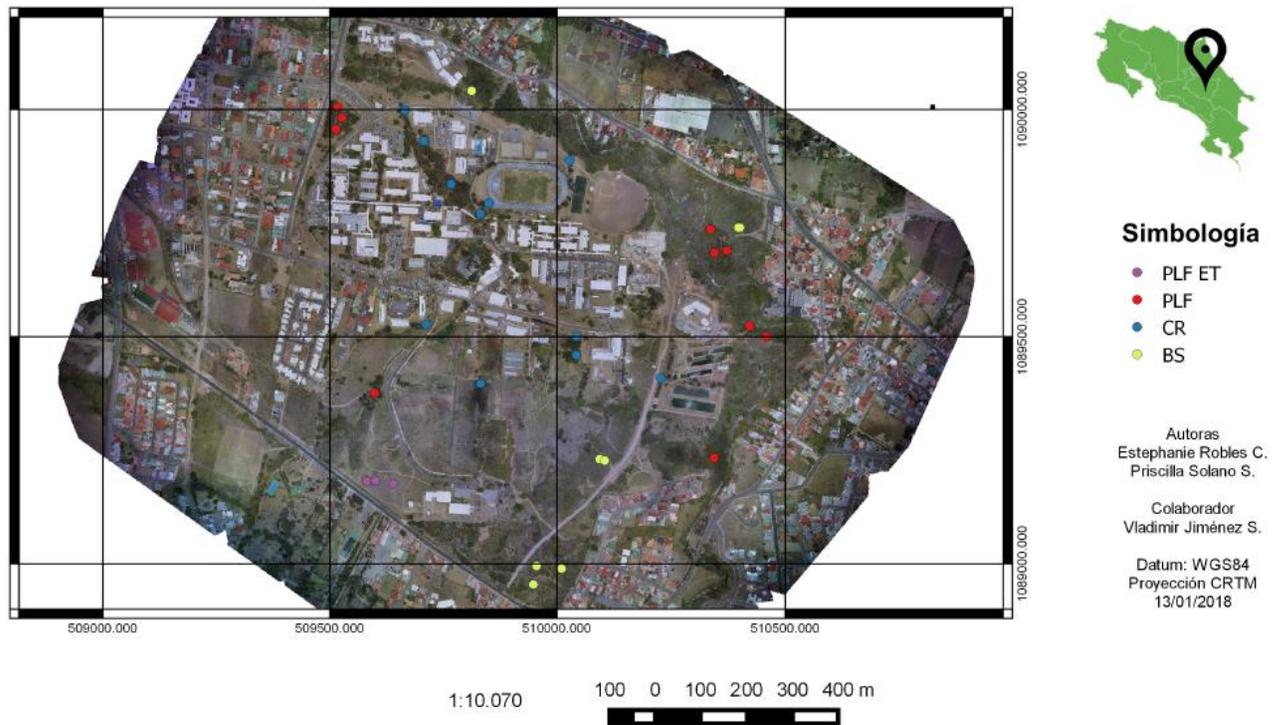
Placa	Coordenada X	Coordenada Y	Placa	Coordenada X	Coordenada Y
0001	509443	1089771	0029	509804	1089155
0002	509458	1089854	0030	509670	1089672
0003	509495	1089909	0031	512880	1088374
0004	509548	1089953	0032	509659	1089645
0005	509540	1090063	0033	509654	1089644
0004	509587	1090028	0034	509644	1089685
0007	509624	1090010	0035	509633	1089740
0008	509680	1089993	0036	509648	1089781
0009	509681	1089930	0037	509651	1089825
0010	509718	1089852	0038	509604	1089847
0011	509734	1089825	0039	509522	1089909
0012	509805	1089765	0040	509504	1089842
0013	509827	1089738	0041	509560	1089798
0014	509850	1089755	0042	509611	1089666
0015	509910	1089753	0043	509549	1089684
0016	509950	1089751	0044	509547	1089694
0017	509940	1089714	0045	509476	1089742
0018	510019	1089693	0046	509704	1089576
0019	510046	1089613	0047	509800	1089576
0020	509927	1089677	0048	510019	1089473
0021	509922	1089662	0049	510026	1089470
0022	509895	1089683	0050	509991	1089390
0023	509841	1089678	0051	509829	1089425
0024	509790	1089630	0052	509837	1089463
0025	509776	1089635	0053	509838	1089517
0026	509772	1089651	0054	509835	1089169
0027	509780	1089688	0055	509785	1089127
0028	509800	1089707	0056	509774	1089140

Placa	Coordenada X	Coordenada Y
0057	509752	1089189
0058	509682	1089249
0059	509652	1089415
0060	509741	1089546
0061	509476	1089742
0062	509543	1089666
0063	509654	1089644
0064	509775	1089660
0065	510064	1089421
0066	510123	1089519
0067	509643	1089946
0068	509734	1089660
0069	510058	1089591
0070	509745	1089807

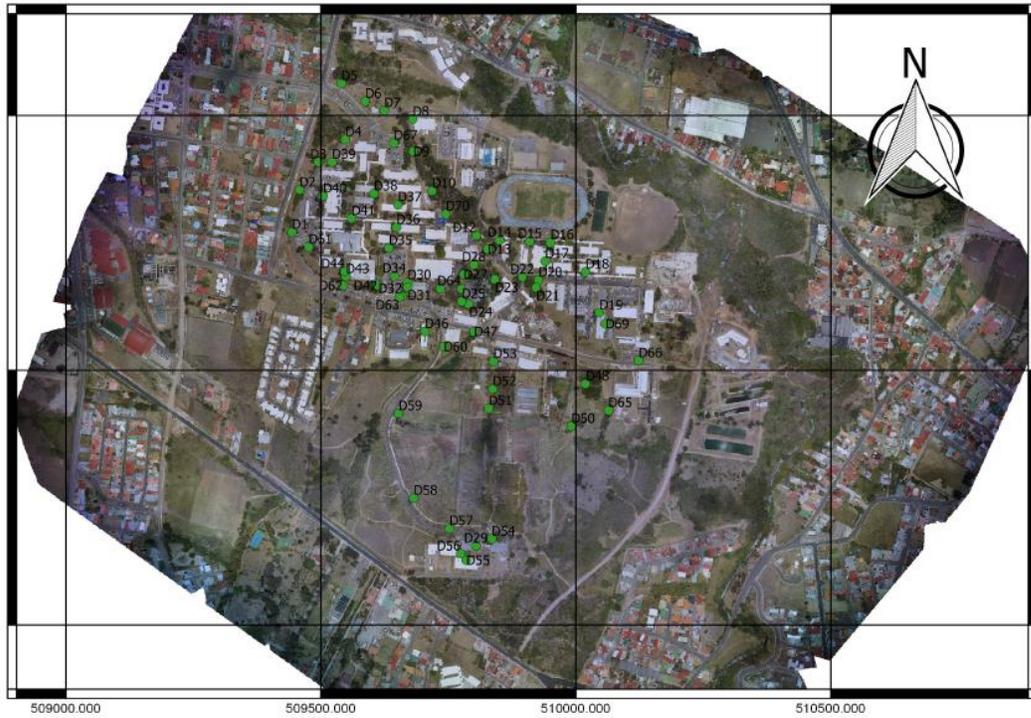
Anexo 5. Diseño de estratificación para la cobertura de Plantaciones forestales (PF) y Bosque secundario (BS) en el Campus Central-TEC, Cartago.



Anexo 6. Unidades muestrales según coberturas, para el inventario de remociones, en el Campus Central-TEC, Cartago.



Anexo 7. Unidades muestrales de la cobertura de Árboles dispersos (D), para el inventario de remociones, en el Campus Central-TEC, Cartago



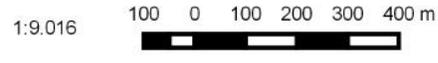
Simbología

- Árboles dispersos

Autoras
 Estephanie Robles C.
 Priscilla Solano S.

Colaborador
 Vladimir Jiménez S.

Datum: WGS 84
 Proyección CRTM
 13/01/2018



Anexo 8. Estratificación de los Árboles dispersos (D), para el inventario de remociones, en el Campus Central-TEC, Cartago.

