

UNIVERSIDAD NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**Potencial de reducción de emisiones de GEI del Centro de
Generación ArCoSa (complejo de generación
hidroeléctrico) mediante la implementación de Tecnologías
Limpias.**

Tesis de Graduación

Licenciatura en Tecnologías Limpias

Presentado por:

Nancy Paola Madrigal Morales

Heredia, 2016

Hoja del Tribunal examinador.

Potencial de reducción de emisiones de GEI del Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrico) mediante la implementación de Tecnologías Limpias. Requisito para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Tecnologías Limpias.

TRIBUNAL EXAMINADOR

Nombre Decano _____

Nombre Director _____

Nombre Profesor Tutor _____

Nombre Lector _____

Nombre Lector _____

Fecha: _____

RESUMEN EJECUTIVO

Potencial de reducción de emisiones de GEI del Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrico) mediante la implementación de Tecnologías Limpias.

La cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero emitidas por las instituciones públicas corresponde a un compromiso asumido por el Gobierno y una necesidad para la mejora de la condición socio ambiental de nuestro país.

El sector energía, principalmente el sub sector de energías renovables, es un eje determinante en el desarrollo país y decisivo para el cumplimiento de metas de Carbono Neutralidad, por lo tanto, resulta preciso la generación de datos científicos que justifiquen cómo el sector energía contribuye al cumplimiento de dichos compromisos y además permitan la mejora de los sistemas de planificación de acciones en el sector energía y la mejora de las métricas nacionales de emisiones.

La cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2014 en el Centro de Generación ArCoSa tiene como resultado que se emiten 3 474 Ton CO₂eq/año, de las cuales 1 466 Ton CO₂eq/año corresponden al CP Arenal, 1 149 Ton CO₂eq/año son emitidas por el CP Dengo y 858 Ton CO₂eq/año por el CP Sandillal.

Finalmente se concluye que la generación de emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes a la producción de energía de Centro de Generación ArCoSa, pueden reducirse un 32% mediante la aplicación de tecnologías limpias aplicadas a lo interno del proceso productivo, pero principalmente gracias a la gestión socioambiental desarrollada para disminuir impactos en áreas de influencia.

DEDICATORIA

A la familia

(Marielos, Carlos, Haizell, Karla y David)

...la que se lleva en la sangre

a esas raíces que me sostienen donde sea
que han demostrado ser fuertes y profundas.

A la otra familia

...la que se construye en el camino,

A las entregas de amor injustificadas

A Diego y a Liz

A Meli y a Ana.

A la vida, el amor y la naturaleza

Nancy

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece y reconoce el apoyo y colaboración de las siguientes personas:

A la Bach. Ana Ramírez Sánchez promotora de esta investigación.

Al Dr Jorge Herrera Murillo tutor de esta tesis, por haber acompañado y aportado al proceso con su conocimiento y experiencia.

A la Srta Marian Rojas Acosta por su apoyo incondicional y profesionalismo.

Ing Geisel Madrigal Morales por su conocimiento y aporte al desarrollo del presente trabajo.

A los compañeros del Centro de Generación ArCoSa y especialmente a los compañeros del Centro de Servicio de Ambiente y Cuencas.

Y a todos los que colaboraron de una u otra forma con aportes para la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido	Pág.
1 Introducción	1
2 Justificación	3
3 Objetivos	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos específicos	6
4 Marco Teórico	7
4.1 Cambio climático y calentamiento global	7
4.2 Programa país Carbono Neutralidad	8
4.3 Estándares para el desarrollo de inventarios de emisiones de GEI: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero e ISO 14064-1: Cuantificación y reporte de emisiones y remociones de GEI emisiones y remociones de GEI en organizaciones 10	
4.4 Tecnología de generación de energía hidroeléctrica	16
4.5 Producción más limpia y Tecnologías limpias.....	18
5 Marco Metodológico.....	19
5.1 Fase 1: Aporte de emisiones de GEI del Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica).....	20
5.1.1 Anteproyecto del Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica).....	21
5.1.2 Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica)	22
5.2 Fase 2: Análisis de emisiones y alternativas de reducción de GEI en Centros de Generación ArCoSa	26
5.2.1 Análisis de las emisiones de GEI	26
5.2.2 Potencial actual de reducción de emisiones.....	27
5.2.3 Identificación de alternativas de reducción de emisiones de GEI.....	27
5.3 Fase 3. Propuesta de reducción de emisiones de GEI en el centro de generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica).....	28
6 Resultados y discusión	29
6.1 Aporte de emisiones de GEI en ArCoSa.....	29
6.1.1 Anteproyecto del Inventario de emisiones de GEI.....	29
6.1.2 Inventario de Emisiones de GEI del CG ArCoSa.....	36

6.2	Análisis de emisiones y tecnologías de reducción de GEI en Centros de Generación ArCoSa	48
6.2.1	Análisis de las emisiones de GEI del CG ArCoSa.....	48
6.2.2	Potencial actual de reducción de emisiones de GEI.....	51
6.2.3	Alternativas de reducción de emisiones de GEI	59
6.3	Propuesta de reducción de emisiones	82
7	Conclusiones	85
8	Recomendaciones	87
9	Referencias Bibliográficas.....	89
10	Anexos	A

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pág.
Cuadro 1. Clasificación para la priorización de categorías de fuentes de emisión de GEI.....	26
Cuadro 2. Resumen de Anteproyecto del Inventario de emisiones de GEI del CG ArCoSa, 2014.....	29
Cuadro 3. Actores clave para la conformación del equipo de desarrollo del Inventario de GEI del CG ArCoSa. Heredia, 2014.....	32
Cuadro 4. Descripción de fuentes de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa.....	34
Cuadro 5. Emisiones de GEI por Centro de Producción del CG ArCoSa para el año 2014.....	37
Cuadro 6. Variables 2014 para la comparación de emisiones de GEI por Centro de Producción del CG ArCoSa.....	41
Cuadro 7. Identificación de fuentes de incertidumbres del inventario de emisiones de GEI del CG ArCoSa 2014.....	44
Cuadro 8. Incertidumbre total del inventario de GEI por Centro de Producción del CG ArCoSa para el año 2014.....	46
Cuadro 9. Programa de capacitación de Huella de Carbono del CG ArCoSa.....	47
Cuadro 10. Clasificación de importancia de fuentes de emisión de GEI del CG ArCoSa 2014.....	48
Cuadro 11. Síntesis de acciones de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa, periodo 2011-2014.....	52
Cuadro 12. Reducciones de emisiones de GEI periodo 2011-2014 en el CG ArCoSa.....	56
Cuadro 13. Escenario de reducción de emisión de GEI del CG ArCoSa periodo 2012-2014.....	57
Cuadro 14. Reducciones de emisiones de GEI por fuente de emisión del CG ArCoSa.....	59
Cuadro 15. Alternativas de reducción interna de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa.....	61
Cuadro 16. Descripción de alternativas internas generales de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa.....	65
Cuadro 17. Alternativas de reducción de emisiones de GEI para el Centro de Producción Arenal y Dengo.....	70
Cuadro 18. Componentes de las áreas de influencia y su relación con la generación de emisiones de GEI del CG ArCoSa.....	75
Cuadro 19. Programas de control de impactos ambientales para la reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa.....	77
Cuadro 20. Resumen de reducción de emisiones por Propuesta de Reducción de GEI del Centro de Generación ArCoSa.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Proceso de participación de organizaciones en el Programa Nacional de Carbono Neutralidad.	9
Figura 2. Diagrama de flujo de generación de energía hidroeléctrica.	16
Figura 3. Ubicación geográfica del Centro de Generación ArCoSa.	20
Figura 4. Composición de las emisiones GEI por tipo de fuente de emisión del CG ArCoSa para el año 2014.	37
Figura 5. Composición de las emisiones de GEI por tipo de gas de efecto invernadero del CG ArCoSa para el año 2014.	38
Figura 6. Emisiones de GEI por fuente de emisión del CG ArCoSa para el año 2014. Fuente: Elaboración propia, 2015.	39
Figura 7. Emisiones de GEI por fuente de emisión (excepto “Generación de aguas residuales”) del CG ArCoSa para el año 2014.	40
Figura 8. Relación entre la generación de emisiones de GEI y la producción de energía eléctrica y potencia instalada del CG ArCoSa para el año 2014.	42
Figura 9. Relación entre la generación de emisiones de GEI y la cantidad de personal del CG ArCoSa para el año 2014.	42
Figura 10. Relación entre la generación de emisiones de GEI y el área del CG ArCoSa para el año 2014.	43
Figura 11. Aporte porcentual de emisiones de GEI del CG ArCoSa 2014.	50
Figura 12. Tendencia de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa periodo 2011-2014.	57
Figura 13. Directrices para la optimización de vehículos en el CG ArCoSa.	68
Figura 14. Consideraciones para la sustitución de tecnologías de aire acondicionado en el CG ArCoSa.	69
Figura 15. Distribución de acciones de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa periodo 2014-2018.	83

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Herramientas de recolección de datos: Caracterización de fuentes de emisión.....	A
Anexo 2. Herramientas de recolección de datos: Recolección de datos de Actividad.	B
Anexo 3. Herramientas de recolección de datos: Calculo de emisiones de GEI.....	E
Anexo 4. Memoria de cálculo del Inventario de Emisiones de GEI del CG ArCoSa. ..	F
Anexo 5. Memoria de cálculo de la Incertidumbre.	AA
Anexo 6. Herramientas de recolección de datos: Reconocimiento de alternativas de reducción.....	DD
Anexo 7. Especificaciones técnicas y de cálculo de alternativas de reducción de emisiones.....	EE

1 Introducción

El cambio climático corresponde a una de las problemáticas ambientales actuales de mayor importancia en los diálogos políticos, económicos y sociales a nivel internacional y nacional.

Ante este inminente fenómeno, el mayor desafío de la sociedad actual es minimizar y adaptarse ante los cambios climáticos que se presentarán en los próximos años. Con el fin de “impedir la interferencia peligrosa del ser humano en el sistema climático” se desarrolló la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC 2014), la cual ha sido la base para el impulso de muchas otras iniciativas relacionadas con la mitigación y adaptación al cambio climático (Dobles 2011).

Utilizando la CMNUCC como justificante, el Gobierno de Costa Rica ha generado una amplia variedad de proyectos para afrontar el cambio climático, dando gran énfasis al desarrollo de fuentes alternativas de energía para disminuir la tasa de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se producen en el país (MINAE 2009, MINAE 2011), principalmente impulsando la producción de energía hidroeléctrica (CENPE 2012).

Investigaciones referentes a la generación de emisiones de GEI han señalado que la energía hidroeléctrica no debe considerarse como energía verde en su totalidad, ya que no están exentas de causar impactos ambientales (Fearnside 2002, Fearnside 2005, Lima *et al* 2007). Específicamente se ha determinado que en algunas ocasiones los embalses asociados a fuentes de producción hidroeléctrica realizan importantes aportes de gas metano a la atmósfera causando inclusive, un mayor impacto a nivel de cambio climático que los generados por otros tipos de generación eléctrica no alternativa (Rosa *et al* 2004, Demartyn y Bastien 2011).

A nivel internacional la determinación del impacto de la generación de energía hidroeléctrica en términos de cambio climático se encuentra en proceso de investigación, sin definir aún protocolos o estándares que permitan tener un

panorama claro de cómo se manejarán estas emisiones (UNESCO/IHA 2009, UNESCO/IHA 2010, UNESCO/IHA 2011, Parekh 2011).

En el sector energético los programas de huella de carbono son apenas incipientes, solamente algunas empresas del negocio energético en el país como Coopelesca R.L. y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. han reportado las emisiones generadas por sus operaciones. Por otra parte, el sector electricidad del ICE ha realizado esfuerzos para establecer metodologías de cuantificación (Acción Climática GIZ 2014).

La presente investigación será el primer paso para que el ICE cumpla con sus compromisos institucionales en cuantificación y reducción de emisiones de GEI y contribuya a la generación de información útil para mejorar las bases de datos existente a nivel nacional, principalmente en lo referente a la contribución de la energía hidroeléctrica al cambio climático.

2 Justificación

Con el fin de atender las preocupaciones concernientes al cambio climático en 1992 se realizó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de la cual Costa Rica formó parte (Asamblea Legislativa 1994). Producto de esta conferencia, se creó el Protocolo de Kioto (ratificado en Costa Rica mediante la Ley 8219 del año 2002) en donde se establecieron compromisos para la reducción y medición de los GEI, convirtiéndose en el primer precedente a nivel país para la reducción de emisiones de GEI (Asamblea Legislativa 2002). Bajo este contexto, en el año 2006 se lanza la iniciativa de Paz con la Naturaleza, en donde el país se compromete a alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2021 (Poder Ejecutivo 2006). Durante el 2015 se modificó el alcance de esta meta para el año 2100 (MINAE 2015).

Como parte de los compromisos de la estrategia Paz con la Naturaleza las instituciones del estado deben integrar la sostenibilidad ambiental dentro de sus políticas y planes, a razón de esto se emite Acuerdo No. 024-MP, publicado en La Gaceta del 29 de diciembre de 2006, donde se establece que todos los ministerios, las instituciones autónomas y entes públicos deben funcionar de forma que cooperen con el cumplimiento de lo establecido en el acuerdo de Paz con la Naturaleza (Arias, 2005). Posteriormente el Acuerdo de Consejo de Gobierno 2007-2010 (Acta No 56 del 1 de agosto del 2007), solicita en temas de cambio climático a las instituciones públicas el desarrollo de un Plan de Acción de corto, mediano y largo plazo con metas claras que contemple los cinco ejes de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Mitigación, Adaptación, Métricas, Desarrollo de capacidades y tecnología y Sensibilización) (MINAE 2009). De aquí nace el programa de Carbono Neutralidad para las instituciones y la importancia de que las mismas calculen sus emisiones con el fin de poder establecer dichas metas.

Como parte de las acciones tomadas a nivel país, la Estrategia Nacional para el Cambio Climático (ENCC) ha determinado al sector energía como uno de los prioritarios para lograr la neutralidad (MINAE 2009). Los Planes Nacionales de

Desarrollo han definido con mayor detalle el papel de este sector en el marco del cambio climático buscando desde 2006 disminuir la dependencia de fuentes fósiles y llegar a producir el 100% de la electricidad a partir de fuentes de energía renovables para el 2021 (MIDEPLAN 2014). Estas propuestas son concordantes con los planes de desarrollo energético (Plan Nacional Energético y Plan de Expansión de la Generación, PNE y PEG respectivamente) realizados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), rector del sector energía en el país (CENPE 2011, CENPE 2012).

El título determinante de las energías renovables en la sostenibilidad del país hace relevante el desarrollo de investigaciones en el campo que permitan mejorar las tecnologías utilizadas cumpliendo con los compromisos nacionales e institucionales antes mencionados. La producción de electricidad debe considerar que “cada fuente de energía tiene un potencial de emisiones de CO₂ diferente, por lo que, la composición de la matriz de la oferta de energía y las tecnologías de los equipos de consumo (vehículos, equipos industriales y agrícolas, entre otros) determinarán el nivel de emisiones del sistema energético del país” (MINAE 2011). Bajo esta premisa es importante denotar que los datos de emisión que se manejan referentes a energías en la mayoría de los casos corresponden a equivalencias y no mediciones científicas de emisiones de GEI, por lo tanto, no se tienen datos precisos del nivel de emisiones generados por el sistema eléctrico (CENPE 2014). Es una necesidad mejorar las estimaciones y la perspectiva que se tiene de la energía hidroeléctrica bajo la consideración que de acuerdo con investigaciones anteriores los embalses ubicados en trópicos son importantes fuentes generadoras de emisiones (Fearnside 2002, Rosa *et al* 2004, Fearnside 2005, Demartyn y Bastien 2011, Fearnside 2014) sin embargo, la generación de energía implica más que solamente el uso de embalses.

Mediante la elaboración del Inventario de emisiones de GEI para un Centro de Generación (CG) es posible contar con una evaluación preliminar del aporte de emisiones de GEI producto de la obtención de energía hidroeléctrica, en este caso ArCoSa es uno de los escenarios más significativos a nivel país por su magnitud de producción (ICE sf). El desarrollo de la presente investigación permite que el ICE, y

específicamente el CG ArCoSa, pueda establecer acciones de mitigación tendientes a la reducción de emisiones para lograr la neutralidad de carbono.

El conocimiento de las emisiones de GEI generadas por las actividades de producción hidroeléctrica facilita el desarrollo, monitoreo y evaluación de la efectividad de alternativas y mejoras a las tecnologías existentes para que estas sean cada vez menos contaminantes. Por lo tanto, es posible determinar el potencial de reducción de emisiones de GEI, y a un mediano plazo mejorar el comportamiento de estas actividades productivas en esta materia, además de evaluar estas mejoras cuantitativamente. Es importante mencionar que hasta el momento la mayoría de conclusiones aportadas por las investigaciones han propuesto como alternativas de mejora de impactos relacionados a la hidroelectricidad la aplicación de medidas preventivas relacionadas con una mejor investigación para la planificación y diseño de sistemas de aprovechamiento de aguas para la generación de energía (Weisser 2007, Parekh 2011).

A un largo plazo, conocer el aporte de emisiones por parte de sector hidroeléctrico al país puede significar un cambio en las estrategias de diseño y desarrollo de proyectos hidroeléctricos y de las mismas estrategias energéticas nacionales (PNE y PEG), las cuales, vale recordar, se encuentran enmarcadas dentro de un Plan Nacional de Desarrollo que tiene compromisos con el cambio climático y la carbono neutralidad (MIDEPLAN, 2014).

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar el potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero producidas en el Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica) mediante la aplicación de tecnologías limpias.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar el aporte de las diferentes fuentes de emisión de gases de efecto invernadero del Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica).
- Identificar las diferentes tecnologías limpias aplicables a los principales procesos generadores de emisiones de GEI.
- Elaborar un Plan de Gestión de Reducción de emisiones de GEI para el Centro de Generación ArCoSa basado en la aplicación de tecnologías limpias.

4 Marco Teórico

4.1 Cambio climático y calentamiento global

El Cambio Climático hace referencia a “todas las variaciones del clima que han ocurrido durante la historia del planeta y que están asociadas a factores como cambios en la actividad solar, en la circulación oceánica, en la actividad volcánica o geológica, en la composición de la atmósfera, etc” (Caballero *et al* 2007). En las últimas décadas (1980-actualidad) los registros climáticos indican aumentos en las temperaturas medias de la Tierra, razón por la cual se utilizan indistintamente los términos cambio climático y calentamiento global (Caballero *et al* 2007).

El Calentamiento Global se refiere a la tendencia que ha mostrado el planeta a incrementar la temperatura durante los últimos 150 años (Caballero *et al* 2007). Este comportamiento se ve estrechamente relacionado con las actividades humanas como: la quema de combustibles fósiles y la tala de bosques, principalmente por la marcada tendencia en el aumento del CO₂ atmosférico, lo que indica que la causa de esta tendencia hacia el calentamiento es una intensificación del efecto invernadero.

El calentamiento global tiene impactos negativos sobre el desarrollo humano. Los efectos más notables corresponden al derretimiento de los glaciares en montañas y casquetes de hielo polares del Ártico y Antártico. Por consiguiente, se asegura un aumento en el nivel del mar amenazando las ciudades costeras con inundaciones (Caballero *et al* 2007).

Efecto Invernadero es el fenómeno natural que provoca el aumento de la temperatura de la Tierra, dando como resultado el calentamiento global. Este se presenta cuando la radiación solar que es reflejada por la superficie de la Tierra queda atrapada en la atmósfera por gases (Gases de Efecto Invernadero, GEI) con actividad radiante (INE, 2005). La ciencia ha demostrado que este fenómeno se da por la presencia de ciertos gases en la atmosfera, conocidos como gases de efecto invernadero: Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), CFCs y otros. A continuación se describen estos gases:

- Dióxido de carbono (CO₂): Es gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera terrestre. Las principales fuentes de emisión de CO₂ son: la quema de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo al propiciar la pérdida de almacenamientos de carbono (INE 2005).
- Metano (CH₄): Es el hidrocarburo gaseoso más abundante y estable en la atmósfera (vida media de 11 años). El metano proviene de procesos naturales de descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. antropogénicamente se genera por operaciones en minas de carbón, la producción de gas natural, los arrozales, la ganadería y la quema de biomasa. El tratamiento de residuos sólidos en rellenos sanitarios y el tratamiento de aguas residuales son importantes fuentes de este gas (INE 2005).
- Óxido nitroso (N₂O): Posee una vida atmosférica de 110 a 168 años pero se emite en menores cantidades. Su presencia en la atmosfera también promueve reacciones que favorecen el agotamiento del ozono estratosférico. Se emite principalmente por procesos terrestres naturales (des nitrificación y nitrificación) y antropogénicamente su principal fuente corresponde al nitrógeno utilizado en la producción de fertilizantes, además se suman otras fuentes como la quema de combustibles fósiles, la combustión de biomasa y la producción de ácido adípico para la industria del nylon (INE 2005).
- Los clorofluorocarbonos (CFCs): Son sustancias de origen 100 porciento antropogénico, sintetizadas a partir de compuestos de cloro, flúor y carbón. Los CFCs son extremadamente estables por lo que se consideran gases de efecto invernadero y sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO). Estos gases han sido prohibidos y regulados mediante Protocolo de Montreal. Su uso principal es en la industria de la refrigeración y como propelentes inertes en los esterilizadores de óxido de etileno (INE 2005).

4.2 Programa país “Carbono Neutralidad”

La Carbono Neutralidad se define como “la práctica de balancear las emisiones de dióxido de carbono y los otros gases de efecto invernadero (GEI), tales como óxido nitroso, metano, fluoruros de carbono” (MINAE 2009). Bajo este concepto se

desarrolló el programa país de C-Neutralidad que tiene como objetivo que los sectores privado y público reduzcan voluntariamente sus emisiones de una forma estandarizada y homologada reconociendo los beneficios de la implementación de sistemas libres de carbono. Dicho programa se oficializa mediante el Acuerdo Ejecutivo 36- Oficialización de programa país Carbono Neutralidad y corresponde a la guía para la participación de las organizaciones en la medición de su huella (MINAE 2012).

El Acuerdo 36-2012–MINAE establece en su artículo 1 que las organizaciones que deseen participar del programa país pueden hacerlo mediante las siguientes vías: a. Reporte de Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y, b. Declaración de Carbono Neutralidad. Además, los requisitos de participación del programa son: realizar el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) o huella de carbono, verificar el inventario de GEI o huella de carbono, declarar de Carbono Neutralidad bajo la norma nacional INTE 12-01-06:2011 “Sistema de gestión para demostrar la carbono neutralidad” (INTECO 2009), compensar las emisiones de GEI y registrar las emisiones, reducciones y compensaciones (Figura 1).

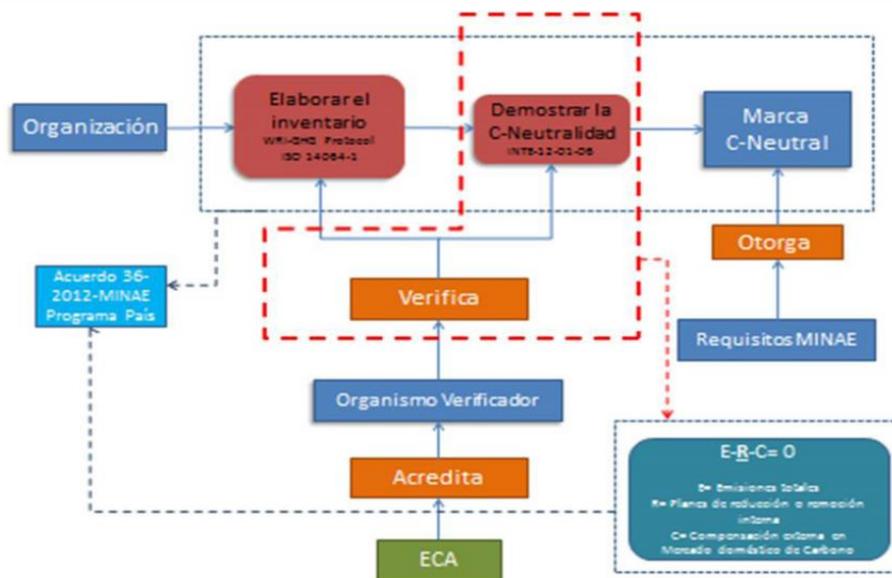


Figura 1. Proceso de participación de organizaciones en el Programa Nacional de Carbono Neutralidad.

Fuente: DCC 2014.

Respecto a la elaboración del inventario de emisiones de GEI se establece que deben realizarse de acuerdo con los estándares del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: “Estándar Corporativo de contabilidad y reporte” del World Resources Institute (WRI) (WBDCS y WRI 2001) e ISO 14064-1:2006. Y dicho reporte del inventario de emisiones de GEI deberá hacerse con enfoque de control operacional de la organización.

4.3 Estándares para el desarrollo de inventarios de emisiones de GEI: Protocolo de Gases de Efecto Invernadero e ISO 14064-1: Cuantificación y reporte de emisiones y remociones de GEI emisiones y remociones de GEI en organizaciones

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI, conocido por sus siglas como ECCR, y la ISO 14064-1 comprenden las principales herramientas que ofrecen a empresas y organizaciones los lineamientos base para realizar un inventario de emisiones de GEI (WBDCS y WRI 2001). Al ser estándares poseen estrechas semejanzas en su contenido.

Específicamente la ISO 14064-1 corresponde a la primera parte de una serie de normas tendientes a la cuantificación y reducción de emisiones de GEI, en ésta se brindan los principales detalles y requerimientos necesarios para el diseño, desarrollo, manejo y reporte de inventarios de GEI en organizaciones (INTECO 2006(1)).

El ECCR establece los siguientes principios necesarios para el desarrollo de un inventario de emisiones de GEI:

- Relevancia: Pretende que el inventario resultante sea un instrumento objetivo para la toma de decisiones tanto a nivel interno como externo a la empresa.
- Integridad: Se refiere a la consideración de todas las fuentes de emisiones que se encuentren dentro de los límites establecidos para el desarrollo del inventario.

- Consistencia: Las metodologías utilizadas deben permitir la comparación de los datos en el paso del tiempo.
- Transparencia: Se manejan con nitidez las metodologías y supuestos realizados en el proceso de contabilidad y cálculo.
- Precisión: Se asegura de evitar errores sistemáticos o desviaciones en las mediciones, buscando la máxima reducción de la incertidumbre con el fin de poder obtener datos confiables para la toma de decisiones.

Los pasos sugeridos por el Protocolo de GEI y la ISO 14064-1 para el desarrollo del inventario son los siguientes:

a. Determinación de los Límites Organizacionales:

Se poseen dos enfoques para el desarrollo de inventarios: el de participación accionaria y los enfoques de control. El enfoque de control se refiere a la contabilización de emisiones de GEI que son atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce el control. A su vez, el control puede definirse en términos financieros como operacionales. El control operacional es aquel en el cual la organización tiene potestad de implementar políticas operativas. Este enfoque permite a su vez una mejor evaluación del desempeño en lo referente a posteriores propuestas de reducción que se implementen en operaciones concretas.

b. Determinación de los Límites Operacionales:

Buscan identificar las emisiones generadas dentro de los límites organizacionales de acuerdo con el tipo de emisiones ya sean indirectas o directas, y seleccionando un alcance para realizar la contabilidad y reporte de las mismas.

Las emisiones directas se definen como “emisiones de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa” (WBDCS; WRI, 2001), mientras que las emisiones indirectas son emisiones que “son consecuencia

de las actividades de la empresa, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de o están controladas por otra empresa” (WBDCS y WRI 2001).

A continuación, se explicará en qué consisten los alcances, que deben ser determinados por la organización:

- Alcance 1: Se refiere a emisiones directas, por ejemplo; emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad o están controlados por la empresa; emisiones provenientes de la producción química en equipos de procesos propios o controlados.

En el caso de las emisiones directas de CO₂ provenientes de la combustión de biomasa y otros gases no incluidos en el Protocolo de Kioto no deben incluirse en el alcance 1. Se puede informar por separado de las emisiones directas de GEI provenientes de la electricidad, el calor y el vapor generado y exportado (entendido como el calor o vapor suministrado por la organización a los usuarios fuera de los límites de la organización) o distribuido por la organización, pero no se deben deducir de las emisiones directas de GEI totales de la organización.

- Alcance 2: Este alcance incluye emisiones indirectas de GEI asociadas al consumo de electricidad principalmente.
- Alcance 3: Hace referencia a emisiones indirectas de otro tipo como la extracción y producción de materiales adquiridos, el transporte de combustibles adquiridos y el uso de productos y servicios vendidos. Esta categoría es opcional.

c. Elección de un año base:

El año base se utiliza generalmente como la plataforma para dar seguimiento a las acciones de mejora empleadas en la organización. Para su elección es importante tener las siguientes consideraciones: elegir como año base el más

lejano en el tiempo, pero que también sea relevante para las operaciones actuales, y para el cual exista información confiable y completa.

d. Identificar las fuentes de emisiones de GEI:

Las emisiones se deben identificar y categorizar de acuerdo con las fuentes de emisiones como:

- Combustión fija: procesos de combustión en equipos estacionarios o fijos, como calderas, hornos, quemadores, turbinas, calentadores, incineradores motores, flameadores, etc.
- Combustión móvil: procesos de combustión en medios de transporte, como automóviles, camiones, autobuses, trenes, aviones, buques, barcos, barcasas, embarcaciones, etc.
- Emisiones de proceso: provenientes de procesos físicos o químicos, como el CO₂ de la etapa de calcinación en la manufactura de cemento, el CO₂ del "cracking" catalítico en procesos petroquímicos, las emisiones de PFC en la fundición de aluminio, etc.
- Emisiones fugitivas: liberaciones intencionales y no intencionales, como fugas en las uniones, sellos, empaques, o juntas de equipos, así como emisiones derivadas de pilas de carbón, tratamiento de aguas residuales, torres de enfriamiento, plantas de procesamiento de gas, etc.

e. Seleccionar un método de cálculo de emisiones de GEI:

Pueden ser mediciones directas o aproximaciones (balances de masa y factores de emisión). El uso de factores de emisión es el más frecuente. Los factores de emisión son "cocientes calculados que relacionan emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión" (WBDCS y WRI, 2001).

f. Recolectar datos sobre sus actividades y elegir factores de emisión:

La organización debe recurrir a fuentes confiables y aproximadas a sus actividades para la recolección de factores de emisión y datos de actividad aplicables a sus procesos.

g. Aplicar herramientas de cálculo

La página web de la GHG (www.ghgprotocol.org) brinda un conjunto de herramientas de cálculo actualizadas por expertos y líderes industriales, las cuales se consideran son las mejores disponibles.

Las herramientas pueden ser intersectoriales o sectoriales, las primeras son aquellas que se aplican a diversos sectores y las segundas son aplicables a tipos de industrias específicas, como por ejemplo; acero, cemento, petróleo y gas, pulpa y papel, organizaciones basadas en oficinas, etc.

h. Definición de la calidad del inventario:

Es el resultado de la puesta en práctica de los principios de desarrollo presentados con anterioridad.

Para establecer un sistema de calidad del inventario es necesario considerar:

- Los métodos: La empresa debe definir y actualizar las metodologías mediante las cuales estimará sus emisiones. Las mismas deben ser rigurosas y detalladas.
- Los datos: se debe planificar y sistematizar la recolección de datos de alta calidad.
- Los procesos y sistemas del inventario: se refiere a los diferentes actores institucionales involucrados en la elaboración del inventario.
- Documentación: La información requerida para el desarrollo de un inventario debe documentarse adecuadamente.

Además de los criterios antes mencionados se recomienda que el sistema de gestión de la calidad del inventario cuente con:

- Un equipo para la calidad del inventario encargado de instrumentar el sistema de gestión de la calidad.
- Un plan de gestión de calidad, en el que se describan los pasos a seguir para instrumentar el sistema. Este plan debe ser diseñado para todos los niveles organizacionales, incorporando mediante procedimientos medidas prácticas para mantener el sistema.
- Controles genéricos de calidad.
- Controles de calidad por categorías específicas de fuentes de emisión.
- Revisar estimaciones y reportes de inventario finales.
- Institucionalizar procesos formales de retroalimentación y mejora continua.
- Establecer procedimientos de reporte, documentación y archivo.

Un aspecto de suma importancia a considerar para la calidad del inventario es el manejo de la incertidumbre. En el desarrollo del inventario pueden presentarse incertidumbres científicas o de estimación. La incertidumbre científica “surge cuando la ciencia de los procesos existentes de emisión y/o remoción de GEI no ha sido comprendida por completo”, y la incertidumbre de la estimación “surge cada vez que se cuantifican emisiones de GEI” (WBDCS y WRI 2001). La incertidumbre de estimación a su vez puede ser una incertidumbre del modelo o de los parámetros.

i. Reporte de emisiones de GEI

El reporte de emisiones debe incluir la siguiente información:

- Descripción de la empresa y los límites del inventario: en este apartado se debe describir los límites organizacionales y operacionales establecidos para el desarrollo del inventario, así como el periodo de tiempo cubierto por el mismo.
- Información de emisiones: en esta sección se deben incluir los aspectos puntualizados a continuación:
 - Las emisiones totales de alcance 1 y 2.
 - Datos de emisiones de cada alcance por separado.

- Datos de emisiones para cada uno de los seis GEI por separado en toneladas métricas y en toneladas de CO₂ equivalente.
- El año elegido como año base, y un perfil de emisiones a lo largo del tiempo que sea consistente y clarifique las políticas de recálculo de las emisiones del año base elegidas.
- El contexto apropiado para cualquier cambio significativo en las emisiones, que detone o haga necesario el recálculo de las emisiones del año base.
- Datos de emisiones directas de toneladas de CO₂ equivalente proveniente del carbono secuestrado biológicamente, reportado de manera independiente de las emisiones de los alcances.
- Las metodologías utilizadas para calcular o medir emisiones, ofreciendo las referencias o vínculos necesarios a las herramientas de cálculo utilizadas.
- Cualquier exclusión específica de alguna fuente, operación y/o instalación.

4.4 Tecnología de generación de energía hidroeléctrica

La obtención de energía hidroeléctrica se basa en el principio de transformación de la energía potencial o cinética del agua en eléctrica mediante sucesivas transformaciones de energía (EPEC sf). El sistema básico de generación se basa en hacer pasar el agua a gran presión por una turbina, provocando un movimiento rotatorio que genera la energía eléctrica. Realizado este proceso, el agua se devuelve al río y se normaliza su curso (Figura 2).

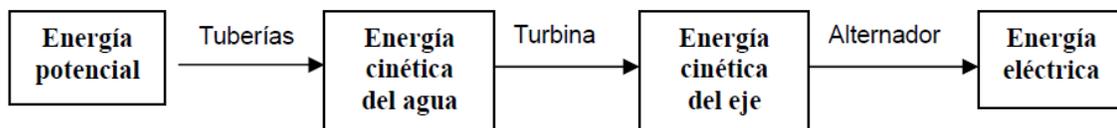


Figura 2. Diagrama de flujo de generación de energía hidroeléctrica.

Fuente: Fernández y Robles sf.

Se llama centro de producción al conjunto de estructuras requeridas para realizar la transformación de la energía hidráulica a eléctrica. Sus componentes principales se describen a continuación:

- Central hidroeléctrica: se conoce también como “casa de máquinas” corresponde a la estructura que ubica las turbinas y generadores. Las turbinas son un componente decisivo para el diseño de una central hidroeléctrica ya que están estrechamente relacionadas con las cualidades y eficiencia de producción de energía.
- Presa y Embalse: la presa corresponde a la estructura que sirve de barrera para el almacenamiento del agua proveniente de uno o varios afluentes a utilizar para la generación de energía y además provee elevación al embalse. El embalse o también conocido como reservorio corresponde a la superficie de agua artificial creada para almacenar el agua requerida para la generación de la energía.
- Toma de agua: Es el área de la obra donde se recoge el agua requerida para el accionar de las turbinas. Se ubica en el embalse y no necesariamente se encuentra en la represa.
- Otros componentes son canales de derivación, tuberías y tanque de oscilación.

La eficiencia de un sistema hidroeléctrico debe considerar: que la carga que representa la altura sobre el nivel de mar sea utilizada en uno o varios pasos mediante plantas escalonadas, la máxima eficiencia de las obras de toma y conducción, y la mejor conversión de la turbina sea óptima, así como la del generador eléctrico.

La capacidad de producción de energía de una central hidroeléctrica (potencia eléctrica) depende directamente de la altura del salto de agua y el caudal instalado. Por lo tanto, es correcto decir que a mayor caudal y mayor caída mayor generación de energía eléctrica; siempre que se cuente con el equipo de aprovechamiento adecuado. (Fernández y Robles sf).

4.5 Producción más limpia y Tecnologías limpias

La producción más limpia se define como: la aplicación de prácticas continuas de carácter preventivo que responden a una estrategia ambiental integrada a los procesos productivos, ya sean servicio o productos, de una organización, esto con el fin de aumentar la eficiencia y reducir impactos negativos a nivel humano y ambiental relacionados con sus operaciones (Varela 2009).

Dentro de estas prácticas, conocidas como tecnologías limpias, se encuentran las tendencias a: 1. La prevención de la contaminación, con prácticas específicas como: mejora de procesos, mejora de tecnologías, cambios en materias primas, reducción de materias primas, introducción de buenas prácticas ambientales, mejora en controles de procesos, rediseño de productos o servicios, entre otras; y 2. el control de la contaminación, con prácticas como: la recuperación de materias primas, reciclaje y reutilización de materiales, instalación de sistemas de tratamiento de contaminantes, implementación de controles de la contaminación por tipos de fuente, entre otras (Amir *et al* 2007).

5 Marco Metodológico

La investigación corresponde a un estudio de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, en el cual se determinaron las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el Centro de Generación ArCoSa (CG ArCoSa – complejo de generación hidroeléctrica), mediante la recolección de diversos datos de campo y la elaboración de un plan de gestión de reducción de emisiones de GEI basada en la aplicación de tecnologías limpias.

El C.G ArCoSa se compone por una serie de centros de producción energética (eólico e hídrico) y un proyecto de riego (Proyecto de Riego Arenal-Tempisque); los componentes de generación energética se clasifican en eólicos o hidroeléctricos, siendo estos últimos (Centro de Producción Arenal, Centro de Producción Sandillal y Centro de Producción Miguel Pablo Dengo) los incluidos en este trabajo. Estos centros de producción son certificados en la ISO 9001,14001 y OSHAS 18001, integrados en un único Sistema de Gestión.

ArCoSa se encuentra ubicado en los valles que se forman entre la Cordillera Volcánica de Guanacaste y de Tilarán, específicamente entre las coordenadas geográficas $10^{\circ} 11' 45.02''$ y $10^{\circ}46' 8.43''$ latitud Norte y $-84^{\circ}40'59.5''$ y $-85^{\circ}36'17.7''$ longitud Oeste (figura 3) (IGN, 1992 citado por Ramírez, 2009). De acuerdo con los sistemas de información geográfica, sus dimensiones corresponden a una longitud total de 419,99 km y una superficie total de 309 332,09 ha, e incluye cuatro cuencas hidrográficas: Embalse Arenal, Lago Cote, río Bebedero y Distrito de Riego (DRAT) (Ramírez 2009).

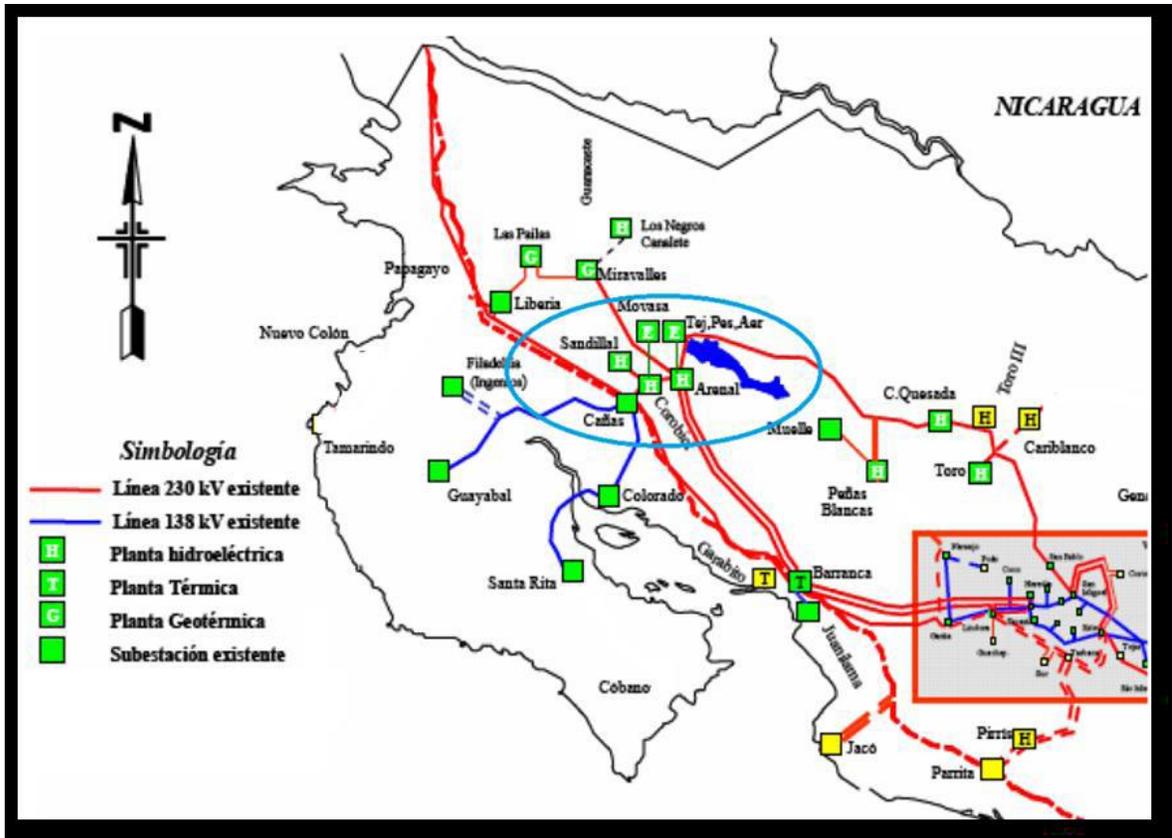


Figura 3. Ubicación geográfica del Centro de Generación ArCoSa.

Fuente: ICE sf.

La metodología propuesta se divide en fases de trabajo correspondientes a los objetivos planteados.

5.1 Fase 1: Aporte de emisiones de GEI del Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica)

El objetivo de esta fase es identificar el aporte de las diferentes fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero del C.G. ArCoSa mediante la elaboración de un Inventario de Gases de Efecto Invernadero de acuerdo con el Protocolo de GEI y la ISO 14064-1:2006, con el fin que sea concordante con las directrices nacionales para la medición de emisiones de GEI. El cumplimiento de esta fase engloba una serie de sub fases que se desarrollan a continuación:

5.1.1 Anteproyecto del Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica)

En esta sub fase se determinaron y aprobaron los lineamientos bajo los cuales se desarrollaría el Inventario de emisiones de GEI para el centro de generación en estudio. El desarrollo de un anteproyecto del inventario se realizó de manera minuciosa, como una fase independiente con el fin de evitar las dobles contabilidades de emisiones, debido a que la actividad desarrollada en el área de estudio (generación de energía) es parcialmente considerada en el factor de emisión nacional de emisión por consumo eléctrico.

a. Caracterización de la organización: Organizacional y operativa.

Se recurrió a: revisión bibliográfica de fuentes primarias y secundarias, incluyendo reconocimiento de campo, con el fin de determinar los diferentes componentes de cada central de producción y uso de herramientas como mapas, planos e información de Google Earth para verificar y mejorar lo visto en campo. La información recolectada se sintetizó con la herramienta de “Herramientas de recolección de datos: Caracterización de fuentes de emisión” (Anexo 1), determinando cuales son las fuentes emisoras de GEI y sus características.

b. Determinación de Límites organizacionales

El objetivo se determinó de acuerdo con los intereses de diversas partes de la organización. La definición del año base se realizó mediante una revisión exhaustiva de fuentes de información primaria como: datos de emisión, consumos energéticos, reportes y registros operacionales. La información se recopiló a través del Sistema Integrado de Gestión (SIG) del centro de generación.

El criterio para la selección del año base se estableció de acuerdo con la existencia de:

- Datos representativos de emisiones que sean relevantes para las operaciones actuales.

- Datos disponibles, confiables y completos.

De igual forma se identificaron los actores claves y sus responsabilidades para la formación de equipo encargado del desarrollo y seguimiento del inventario de gases de efecto invernadero.

c. **Determinación de los límites operacionales**

Las fuentes de emisión identificadas se clasificaron de acuerdo con los alcances tipo 1, 2 y 3 considerando el tipo de emisiones que producen como directas, indirectas u otras indirectas respectivamente. En este paso se determinó con claridad las fuentes a considerar en la contabilización de emisiones de GEI asociadas al consumo de generación hidroeléctrica. Los lineamientos establecidos por el Sistema Integrado de Gestión (SIG) de la organización fueron un punto clave para la definición de alcances.

5.1.2 Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica)

El objetivo de esta sub fase corresponde a elaborar un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero traducido en carbono equivalente para el Centro de Generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica) del ICE. Los pasos necesarios para la elaboración del inventario se puntualizan adelante:

a. Cuantificación de las emisiones generadas

Para efectos del presente estudio, la cuantificación de emisiones generadas se realizó por el método de mediciones indirectas, determinadas mediante la aplicación de factores de emisión y datos de actividad. Para la aplicación de este tipo de medición se requirió:

- i. Selección de datos de actividad: Se obtuvieron en colaboración con el encargado, responsable o representante de operación identificado con anterioridad. Esta información se recopiló con la “Herramientas de recolección de datos: Recolección de datos de actividad” (Anexo 2).

En general para fuentes del alcance tipo 1, los datos de actividad son correspondientes a fichas operativas de la fuente que indican los consumos de insumos que generan GEI durante su uso. En el caso de fuentes del alcance tipo 2, corresponden a los consumos de electricidad que se establecen por medio de la facturación eléctrica.

Se establecieron como criterios de selección de datos de actividad los siguientes:

- Documentación del dato primario o bien la fuente más cercana a dicho número, evitando la posibilidad de arrastrar errores de transcripción de datos y asegurando su calidad en términos de una posterior verificación de la cuantificación (INTECO 2006(2)).
- Documentación oficial y formal para la organización, ya sea producto de formatos o registros oficiales del SIG o de procesos administrativos de la organización.
- Documentación, controles o registros ya existentes.

En conjunto con los datos de actividad se recolectó información relevante para el cálculo de la incertidumbre y aseguramiento de la calidad de los datos, como por ejemplo certificados de calibración de equipo.

- ii. Selección de factores de emisión: Se utilizaron factores propuestos por el IMN. En caso de no contar con ellos se utilizaron los propuestos por el IPCC.
- iii. Otras mediciones indirectas: La medición de emisiones de las fuentes de emisión: gases de extintores, uso de acetileno en soldadura y uso de sustancias refrigerantes, se realizó de acuerdo con metodologías propuestas por la IPCC.

b. Cálculo de las emisiones totales

Las emisiones totales se calcularon de acuerdo con la fórmula presentada en la Ecuación 1. Se utilizaron los potenciales de calentamiento global (horizonte: 100 años) brindados por la IPCC para el cálculo total de emisiones en términos de toneladas año de carbono equivalente (Ton/año de CO₂eq). Para este cálculo se utilizó la herramienta de Excel “Herramientas de recolección de datos: Cálculo de la Huella de Carbono” (Anexo 3), los cálculos específicos pueden observarse en el Anexo 4 “Memoria de cálculo de emisiones de GEI del CG ArCoSa”.

$$Emisiones (Ton CO_2eq) = DA * Fe * PGC \quad (1)$$

Donde:

DA es igual al Dato de actividad recolectado.

Fe es igual al factor de emisión por default brindado por el IMN o el IPCC.

PCG es igual al potencial de calentamiento global determinado para cada Gas.

La incertidumbre del inventario se calculó de acuerdo con lo propuesto en la Ecuación 2, considerando la incertidumbre de cada fuente de emisión de GEI (Capacitación Huella de Carbono (2015 ICE, Cr)).

$$Incertidumbre\ agregada = \sqrt{EF\mu^2 + AD\mu^2} \quad (2)$$

Donde:

EFu= Incertidumbre del factor de emisión.

ADu=Incertidumbre de datos de actividad.

La incertidumbre se basó en utilizar estimaciones disponibles producto de: datos medidos, información publicada, resultados de modelos y dictamen de expertos. Los datos de incertidumbre se presentan con un intervalo de confianza del 95%, definido por los percentiles 2,5 y 97,5, de acuerdo con las

recomendaciones de buenas prácticas para el cálculo de la incertidumbre brindadas por el IPCC (IPCC, 2006 (1)). Los cálculos de la incertidumbre se muestran en el Anexo 5 Memoria de cálculo de la Incertidumbre.

La incertidumbre de la totalidad del inventario se realizó aplicando las directrices de totalización de la incertidumbre aportadas por el IPCC, considerando que las emisiones totales son producto de la sumatoria de las emisiones de cada fuente.

c. Elaboración del Reporte de Emisiones

El reporte de emisiones se elaboró de acuerdo con los lineamientos establecidos por la norma ISO 14064-1.

d. Gestión de la calidad del Inventario de Emisiones

Se realizaron las siguientes actividades para el aseguramiento de la calidad del inventario:

- Establecimiento de un equipo para la el desarrollo y seguimiento del inventario.
- Definición controles genéricos de calidad a aplicar a fuentes, factores y datos de actividad.
- Revisión de estimaciones y reportes de inventario finales
- Desarrollo y aprobación de procedimientos de reporte, documentación y archivo del inventario.
- Determinación de métodos, datos y medios de documentación de la información requerida para el inventario.

5.2 Fase 2: Análisis de emisiones y alternativas de reducción de GEI en Centros de Generación ArCoSa

El objetivo de esta fase es identificar las tecnologías limpias para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero aplicables a las principales fuentes generadoras de emisiones identificadas con anterioridad.

5.2.1 Análisis de las emisiones de GEI

Se aplicó la metodología de Análisis de categorías principales propuestos por la IPCC en su capítulo 7 (7.2.1.1 “Método de nivel 1 para identificar las categorías principales de fuentes) para identificar las fuentes de emisiones más importantes. El criterio utilizado considera incertidumbres relevantes de aquellas que correspondan a categorías de fuentes de emisión que aportan el 95% de las emisiones de GEI totales (es decir la sumatoria de sus aportes de emisiones en orden descendente suma el 95%), este umbral se establece en base a los trabajos de Rypdal y Flugsrud (2001) y también se presenta en *GPG2000*, Sección 7.2.1.1 del Capítulo 7 (IPCC 2006 (2)). En el caso del presente trabajo se consideran también un umbral del 95-97%, como categorías de importante seguimiento, y finalmente se identifican categorías superiores al 97% como poco relevantes, esta clasificación se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación para la priorización de categorías de fuentes de emisión de GEI.

Clasificación	Umbral	Color
Prioritarias	<95%	Red
Importante seguimiento	95-97	Amarillo
Poco relevantes	>97%	Verde

Fuente: Elaboración propia 2015.

5.2.2 Potencial actual de reducción de emisiones

Se valoró el potencial actual de reducción de las emisiones, basándose en las acciones de mejora ambiental realizadas en años anteriores (2011-2014) que de forma directa o indirecta han impactado en las emisiones de GEI registradas para el año base, si bien es cierto estas reducciones o remociones no son válidas para la Huella de Carbono, son funcionales para determinar el marco de acción futuro para el desarrollo de alternativas de reducción. Para su evaluación se consideró:

- Un año escenario, a partir del cual se contabilicen las remociones que cuenten con información; completa, confiable y accesible acerca de las reducciones establecidas.
- Cambios en las fuentes que influyan en los aumentos o reducciones de las emisiones.
- Aplicación de las mismas metodologías de cuantificación utilizadas en el cálculo del inventario de emisiones de GEI.

Para la recolección de dicha información se aplicó el registro de recolección de información utilizado en la primera fase para identificar la fuente (Anexo 1), y se recurrió a los mismos registros de información para recolección de datos de actividad.

5.2.3 Identificación de alternativas de reducción de emisiones de GEI

Las alternativas de reducción de cada fuente se identificaron con el grupo de trabajo con ayuda de la “Herramientas de recolección de datos: Reconocimiento de alternativas de reducción” (Anexo 6).

Las alternativas se clasificaron como:

- Reducciones internas: Son aquellas acciones que impacten directa o indirectamente las fuentes de emisión o los sumideros identificados y se

desarrollen por el Centro de Generación dentro de los límites físicos y operativos definidos por el alcance del inventario.

- Proyectos de compensación: se consideraron como las acciones que impacten directa o indirectamente las fuentes de emisión o los sumideros identificados desarrolladas por el Centro de Generación fuera de los límites definidos por el inventario, pero que son ejecutadas y controladas por la organización.

Las tecnologías limpias identificadas se caracterizaron detalladamente definiendo aspectos como categorización de acuerdo con su implementación en el Sistema de Huella de Carbono, costos, ventajas y desventajas, entre otras. Para cada alternativa se estimó una tasa de reducción de emisiones (Ton CO₂eq/año) basándose en información disponible referente a consumos y capturas de carbono.

5.3 Fase 3. Propuesta de reducción de emisiones de GEI en el centro de generación ArCoSa (complejo de generación hidroeléctrica).

El objetivo de esta fase es desarrollar un Plan de reducción de emisiones de GEI, compuesto por alternativas viables para la organización para reducir o evitar las emisiones calculadas, trabajando sobre los principales procesos generadores si es posible, y determinar su potencial de reducción de emisiones.

Para la selección de alternativas se consideró, el análisis de categorías principales (impacto en la Huella de Carbono), los escenarios de línea base (potencial de reducción) y posteriormente la facilidad de incorporación de la alternativa al sistema. La propuesta se presentó como un Plan de Gestión, incluyendo aspectos como responsables, requerimientos, plazos de ejecución, seguimiento, entre otros.

El potencial de reducción futuro se calculó con base a un año meta para la finalización de la ejecución de la propuesta, y con metas de ejecución de las alternativas planteadas.

6 Resultados y discusión

6.1 Aporte de emisiones de GEI en ArCoSa.

6.1.1 Anteproyecto del Inventario de emisiones de GEI

Los lineamientos establecidos para el desarrollo de inventario se muestran en el documento “Anteproyecto del Inventario de GEI del Centro de Generación ArCoSa” (Apéndice 1). El cuadro 2 resume los principales resultados del desarrollo del anteproyecto.

Cuadro 2. Resumen de Anteproyecto del Inventario de emisiones de GEI del CG ArCoSa, 2014.

Aspecto	Detalle
Objetivos	Levantar una línea base para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en ArCoSa y la verificación de la C-Neutralidad de la organización. Identificar oportunidades de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
Año base	2014
Limites organizacionales	Enfoque de control con criterio operacional
Limites operacionales	Alcance tipo 1 y 2. Las fuentes de emisión se muestran con detalle en el cuadro 4.
Gases cuantificados	Dióxido de carbono (CO ₂), Metano (CH ₄), Óxido nitroso (N ₂ O) y Gases fluorados (principalmente refrigerantes, HFC).
Exclusiones	Emisiones por embalses: Estas emisiones se consideran como parte del factor nacional de consumo eléctrico (FEC) (Montero, 2013). Emisiones por generación de residuos sólidos: Estas emisiones se cargan al gestor de residuos sólidos, se contabilizan como un indicador de mejora ambiental.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Los siguientes aspectos son de suma importancia para la determinación de los límites del Inventario:

- Complejidad organizacional: El ICE es una institución que agrupa una serie de organizaciones con diferentes enfoques, entre los que se encuentra el sector electricidad. Este divide las diferentes actividades desarrolladas en Negocios (Planificación, Construcción, Generación, Distribución y Transmisión). Organizacionalmente el presente proyecto se despliega dentro de los límites del Negocio Generación, el cual está compuesto de Centros de Generación que agrupan bajo criterios geográficos a los diferentes centros de producción responsables de la generación de energía.
- Independencia entre los Negocios: En una misma área física pueden desenvolverse diferentes Negocios, los cuales siguen directrices específicas. Por esta razón es determinante definir con claridad los alcances del Negocio de Generación en el CG ArCoSa para la determinación de los límites del inventario.
- Existencia de un Sistema Integrado de Gestión: El Negocio Generación enmarca organizativamente su desarrollo en calidad, ambiente y seguridad ocupacional como un Sistema Integrado de Gestión (SIG) (basado en las normas 9001, 18001, 14001). La existencia de un SIG permite tener acceso a una gran cantidad de información documental oficial y actualizada (procedimientos, instructivos, registros, controles operacionales) referente a las labores del CG. Además, el SIG establece alcances y directrices que debían ser respetados por el desarrollo de cualquier otro programa dentro, principalmente si se busca su integración en la organización.
- Independencia entre Centros de Producción: Los Centros de Producción poseen un grado de independencia tal entre ellos que permite la ejecución del SIG y otros programas de manera individual, asumiendo cada uno sus responsabilidades de cumplimiento y mejora.

- Áreas físicas y áreas de gestión: Los Centros de Producción reconocen sus actividades mediante áreas de gestión (conjunto de actividades relacionadas entre sí) que se ejecutan en diferentes áreas físicas determinadas por el SIG. Las emisiones de GEI no necesariamente se dan en un área física determinada y no solamente responden a una única área de gestión, por lo tanto, no se le dio prioridad a esta clasificación para la descripción de las emisiones.
- Complejidad del espacio físico: Las instalaciones físicas de la organización en estudio se distribuyen en diferentes espacios físicos entre los cantones de Tilarán y Cañas. Se conforman por edificaciones, áreas verdes, áreas boscosas (terrenos exclusivos para la protección) y áreas de influencia. Estas últimas corresponden a terrenos que no son propiedad de la organización pero delimitan el margen de acción (principalmente de control socio-ambiental) del Centro de Generación. Muchos de los espacios físicos reconocidos no implican la ejecución de operaciones ya que consisten solamente en una infraestructura, por lo tanto, no se reconocen como posibles áreas donde se encuentren fuentes emisoras de GEI.

Con el fin de integrar la Huella de Carbono a la organización y asegurar la continuidad del proyecto se identificaron actores importantes dentro del desarrollo del inventario (Cuadro 3).

De las fuentes identificadas en el cuadro 3 se excluyen de la cuantificación: la generación de metano en embalses ya que su contabilidad se le asigna al Sistema Eléctrico Nacional para la creación de factor de consumo eléctrico (CENPE, 2014) y la generación de residuos sólidos, la cual es una atribución en términos de emisiones de las organizaciones encargadas de su disposición final.

Cuadro 3. Actores clave para la conformación del equipo de desarrollo del Inventario de GEI del CG ArCoSa. Heredia, 2014.

Actor	Responsabilidades
Coordinador de planta	<ul style="list-style-type: none"> -Apoyar el desarrollo del inventario de GEI dentro de su área de gestión. -Definir el equipo de apoyo para el desarrollo del Inventario y designar responsabilidades dentro de las áreas de gestión del centro para el desarrollo de actividades del inventario. -Procurar la existencia de recursos para el desarrollo del inventario. -Revisar y aprobar directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del Inventario de GEI dentro de su área de gestión. -Asegurar la actualización del informe de las fuentes de GEIs y remoción mediante la revisión anual de cambios en los límites organizacionales y operacionales a través del SIG.
Encargado de Calidad, Ambiente y Riesgo (ECAR)	<ul style="list-style-type: none"> -Designar responsabilidades dentro de su área de gestión para el desarrollo de actividades del inventario. -Colaborar en el suministro de información necesaria para los inventarios.
Encargado de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> -Participar en la elaboración de directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del inventario. -Brindar información solicitada relacionada con su área de gestión.
Encargado de vehículos y fondo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> -Participar en la búsqueda de mejoras para la reducción de emisiones dentro de su área de gestión. -Velar por la existencia de información verificable en relación a las fuentes de emisión de gases de GEI.
Encargado eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> -Identificar las fuentes de emisión de GEI.

Cuadro 3. Actores clave para la conformación del equipo de desarrollo del Inventario de GEI del CG ArCoSa. Heredia, 2014 (parte 2).

Actor	Responsabilidades
Gestor Ambiental o especialista en GEI	<ul style="list-style-type: none"> -Actualizar, revisar y aprobar anualmente el Inventario de Emisiones de GEI en conjunto con el Coordinador del centro de trabajo -Asegurar que se realicen verificaciones de los inventarios de fuentes GEI y remociones con el objetivo de asegurar la calidad del inventario de GEI. -Elaborar, aprobar y comunicar directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del Inventario de GEI dentro de su área de gestión. - Asegurar la actualización del informe de las fuentes de GEIs. -Dar seguimiento a los resultados obtenidos.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el cuadro 4 se observan las actividades y operaciones identificadas como emisoras (columna 3).

Cuadro 4. Descripción de fuentes de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa.

Aspecto Ambiental	Fuentes de emisión de GEI, actividades u operaciones	Tipo de Fuente	GEI
Consumo de combustibles	Consumo de combustibles para transporte (motos y vehículos)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Consumo de combustibles transporte acuático (lanchas, transportadores, otros)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Consumo combustible equipo menor (equipos de bombeo, sistemas fijos contra incendios, montacargas, herramientas de corte, plantas de emergencia, cierras)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Consumo combustible equipo mayor (dragas, grúas, volquetes)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Consumo de gases (Acetileno, CO₂)	Uso de extintores de CO ₂	Directa, Fugitiva	CO ₂
	Uso de acetileno estos para soldadura y corte	Directa, Fugitiva	CO ₂
Consumo de aceites y lubricantes	Uso de estos productos en labores de mantenimiento	Directa	CO ₂
*Generación de emisiones por embalses	Almacenamiento del agua	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

Cuadro 4. Descripción de fuentes de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa (parte 2).

Aspecto Ambiental	Fuentes de emisión de GEI, actividades u operaciones	Tipo de Fuente	GEI
Consumo de sustancias refrigerantes	Refrigeradores	Directa, Fugitiva	HFC
	Aires acondicionados vehículos (móviles)	Directa, Fugitiva	HFC
	Aires acondicionados generales /estacionarios	Directa, Fugitiva	HFC
Generación de aguas residuales	Uso de tanques sépticos	Directa	CH ₄
*Generación de residuos sólidos	Disposición de residuos en Relleno Sanitario	Directa	CO ₂
	Disposición de residuos en compost	Directa	CH ₄
Consumo eléctrico (Servicio propio)	Iluminación, Electrodomésticos, equipos de oficina y otros.	Directa	CO ₂
Consumo eléctrico (Servicio al cliente)	Iluminación, Electrodomésticos, equipos de oficina y otros.	Indirecta	CO ₂

Fuente: Elaboración propia, 2015.

*Fuentes no reportables en Huella de Carbono

La fuente de generación de emisiones por consumo eléctrico se separó en fuentes directas e indirectas debido a que estos consumos provienen de fuentes de energía distintas: el servicio al cliente hace referencia a la energía consumida de la red de distribución nacional, mientras que el consumo propio se liga a la energía autoconsumida de la generación eléctrica del Centro de Producción. Además el cálculo de las emisiones generadas por consumo eléctrico (servicio al cliente) se realiza aplicando un factor de consumo nacional (FEC), el cual es dependiente de la matriz energética del año en cálculo, lo cual se le llama “consumo de la red”(Sistema Eléctrico Nacional: SEN); sin embargo en algunas ocasiones la energía generada no forma parte de la matriz energética nacional porque no entra al SEN y es auto consumida en las operaciones propias de la planta, para este cálculo usamos el mismo FEC por fines de disponibilidad de información, no obstante se aclara que debería utilizarse un factor propio de la planta.

6.1.2 Inventario de Emisiones de GEI del CG ArCoSa

En el Anexo 3 “Memoria de Cálculo del Inventario de GEI” es posible observar las consideraciones y detalles requeridos para el desarrollo del inventario.

a. Emisiones de GEI del CG ArCoSa

Las emisiones de dióxido de carbono equivalente emitidas por el CG ArCoSa durante el año 2014 corresponden a 3 474 Ton CO₂eq/año, de las cuales 1 466 Ton CO₂eq/año corresponden al CP Arenal, 1 149 Ton CO₂eq/año son emitidas por el CP Dengo y 858 Ton CO₂eq/año por el CP Sandillal (Cuadro 5).

Cuadro 5. Emisiones de GEI por Centro de Producción del CG ArCoSa para el año 2014.

Centro de Producción	Emisiones de GEI (Ton CO ₂ eq/año)
CP Arenal	1 466
CP Dengo	1 149
CP Sandillal	858
CG ArCoSa	3 474

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Estas emisiones son producto mayoritariamente de fuentes directas (figura 4). Este comportamiento es atribuible a que del total de fuentes cuantificadas el 90% se caracteriza por producir emisiones de manera directa, y algunas de estas fuentes son las que unitariamente hacen mayor aporte de GEI al total de emisiones cuantificadas (Figura 6).

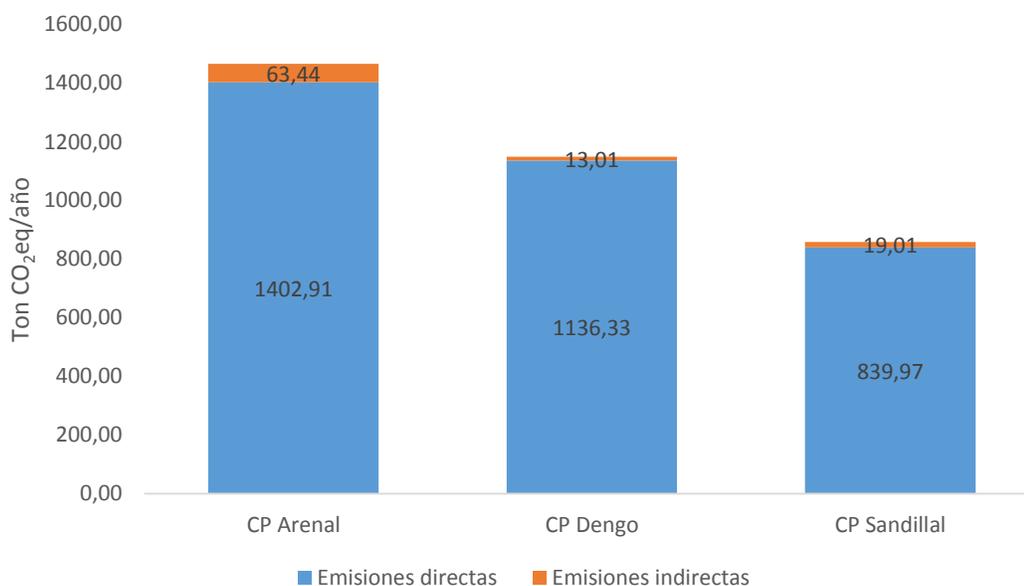


Figura 4. Composición de las emisiones GEI por tipo de fuente de emisión del CG ArCoSa para el año 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La composición de las emisiones de GEI en términos de los gases de efecto invernadero cuantificados presenta condiciones similares para los 3 centros de producción. Los gases de metano y dióxido de carbono son los que se emiten en mayor cantidad, mientras que los gases fluorados y el dióxido de nitrógeno presentan porcentajes de contribución menores al 1% (Figura 5).

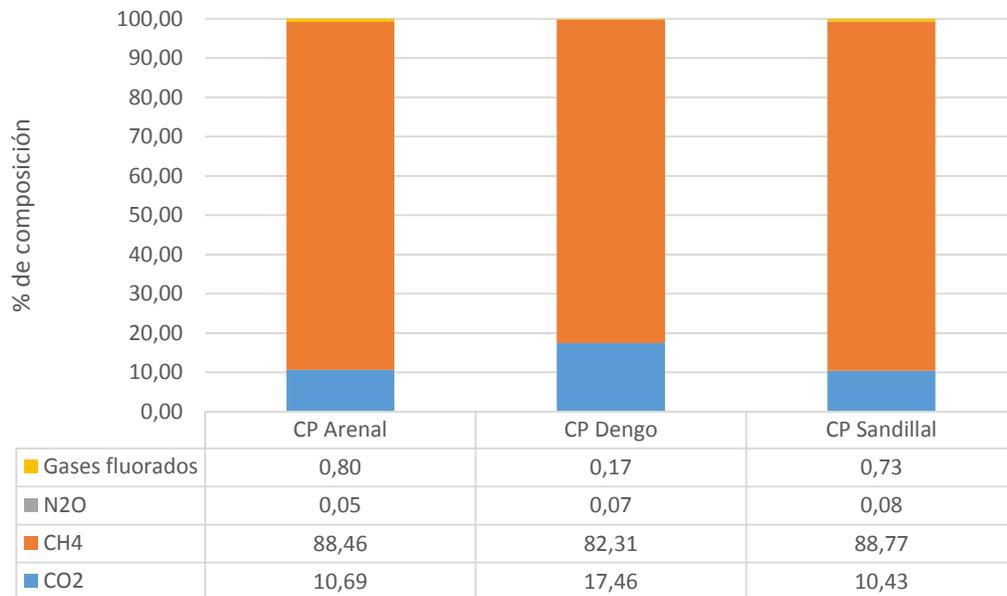


Figura 5. Composición de las emisiones de GEI por tipo de gas de efecto invernadero del CG ArCoSa para el año 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

En términos generales las fuentes de: generación de aguas residuales, consumo de energía (servicio propio), consumo de combustibles y consumo de energía (servicio al cliente), presentan respectivamente mayores aportes a la Huella de Carbono (Figura 6).

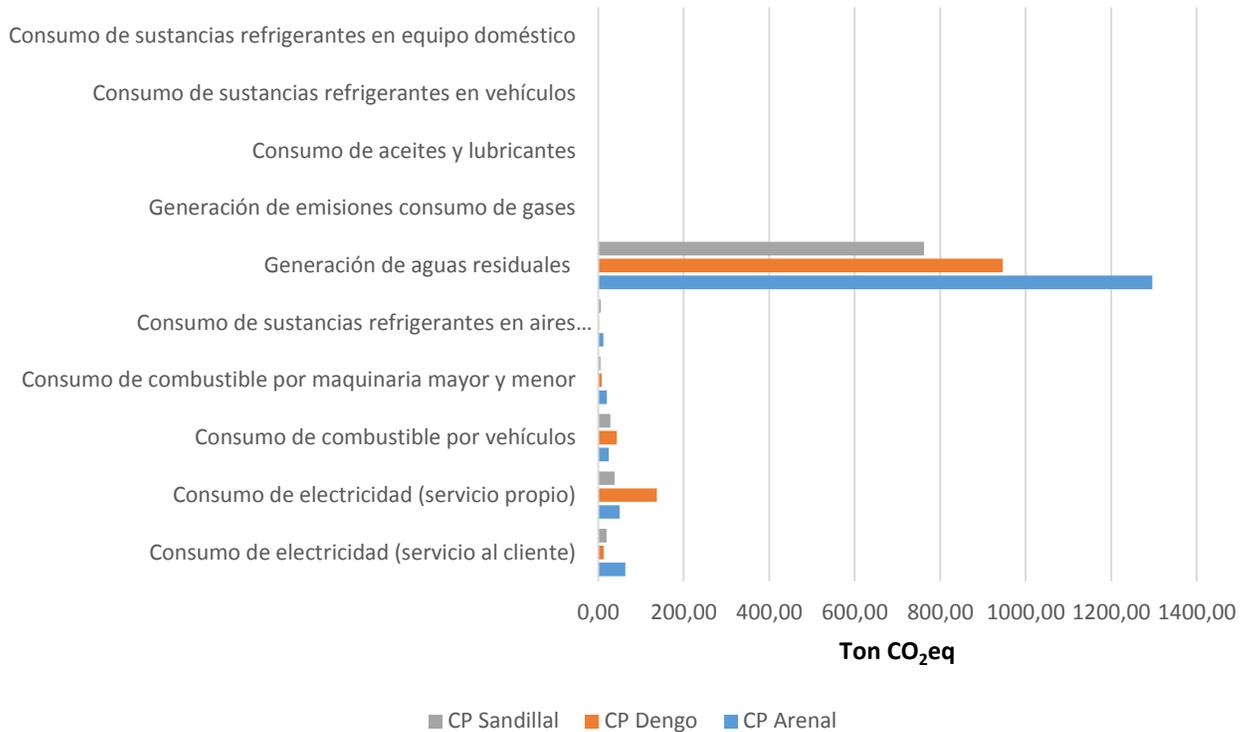


Figura 6. Emisiones de GEI por fuente de emisión del CG ArCoSa para el año 2014. Fuente: Elaboración propia, 2015.

La generación de aguas residuales tiene una contribución significativamente mayor a la Huella de Carbono, lo que afecta la apreciación con claridad de los aportes de otras fuentes en la figura 6. En la figura 7 se muestran las emisiones de cada fuente sin la influencia de la fuente de generación de emisiones por aguas residuales.

Las emisiones producto de fuentes como el consumo de sustancias refrigerantes por equipo doméstico y vehículos, consumo de gases y el consumo de aceites y lubricantes presentan aportes despreciables a la Huella de Carbono (Figura 7).

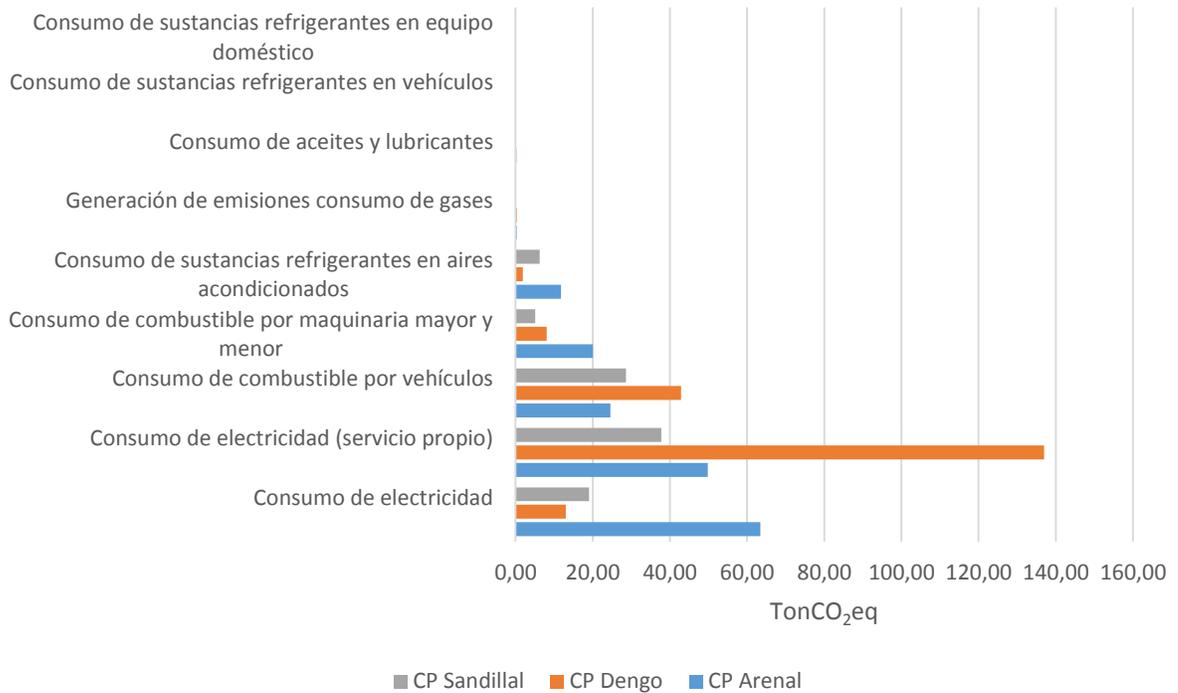


Figura 7. Emisiones de GEI por fuente de emisión (excepto “Generación de aguas residuales”) del CG ArCoSa para el año 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015

El análisis comparativo de emisiones se realizó considerando las siguientes variables, sus magnitudes se presentan en el cuadro 6:

- **Producción de energía:** Esta es la actividad principal que desarrolla la planta. En función de la demanda de energía se realiza la programación de las operaciones de cada centro de producción. En la producción final interfieren variables como la eficiencia, demanda, disponibilidad del recurso y otros.
- **La capacidad instalada:** Describe el nivel máximo de producción que por diseño puede llegar a tener una instalación con base en los recursos como: equipo e instalaciones físicas. Permite realizar comparaciones obviando las variables que afectan la producción de energía.

- Cantidad de colaboradores: Interfiere en el consumo de recursos y se relaciona con los requerimientos de operación de los centros de producción.
- El área: El tamaño de un centro de producción afecta proporcionalmente la cantidad de recursos requeridos para su mantención. Dentro del área se consideran; infraestructura, embalses y zonas verdes.

Cuadro 6. Variables 2014 para la comparación de emisiones de GEI por Centro de Producción del CG ArCoSa.

Centro de Producción	Producción 2014 (Mwh)	Capacidad Instalada (Kw)	Cantidad de colaboradores (# individuos)	Área (ha)
CP Arenal	614 228	157 398	50	8 881,09
CP Dengo	700 433	174 012	37	110,56
CP Sandillal	99 868	31 997	28	274,54

Fuente: Elaboración propia, 2015

Respecto a la relación existente entre generación de emisiones y las variables analizadas los resultados indican que en el caso del CP Arenal y Sandillal conforme crecen la producción de electricidad y la capacidad instalada aumenta la generación de emisiones de GEI. En el caso del CP Dengo la producción de energía es mayor que en Arenal pero sus emisiones sigue siendo menores (Figura 8). Por lo tanto, se deduce que la producción de electricidad y la capacidad instalada no son variables determinantes para la generación de GEI en los CPs estudiados, debido a que no se aprecian diferencias entre las tendencias alcanzadas por la producción de energía y la capacidad instalada, lo que indica que los factores de eficiencia, demanda, disponibilidad del recurso no son determinantes en la generación de GEI en los centros de producción estudiados.

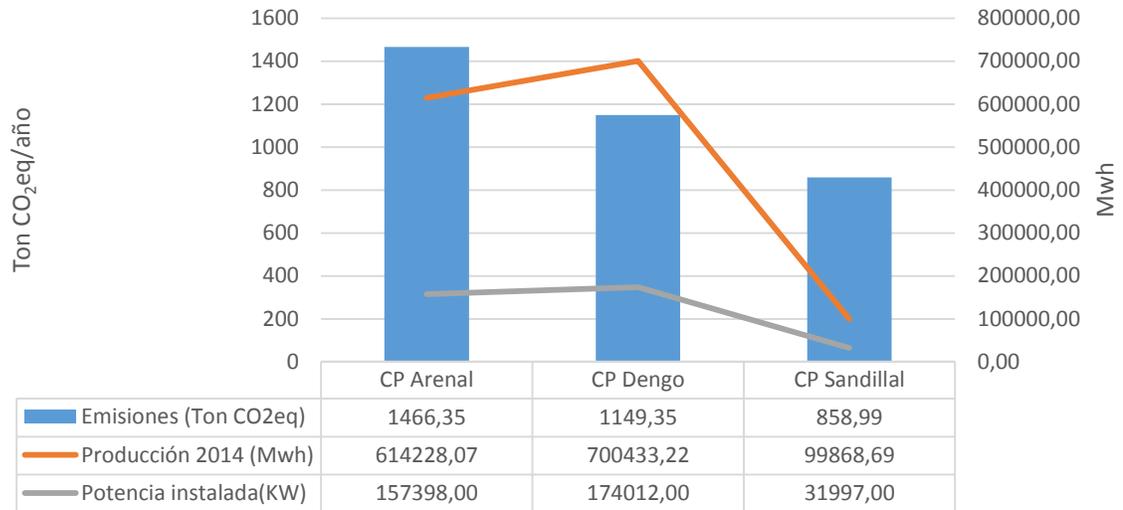


Figura 8. Relación entre la generación de emisiones de GEI y la producción de energía eléctrica y potencia instalada del CG ArCoSa para el año 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015

En el caso de las variables de cantidad de empleados y el área presentan una relación directamente proporcional a la generación de emisiones de GEI. Con respecto a la cantidad de personas la tendencia manifiesta que a mayor número de personas aumenta la cantidad de emisiones de GEI cuantificadas (Figura 9).

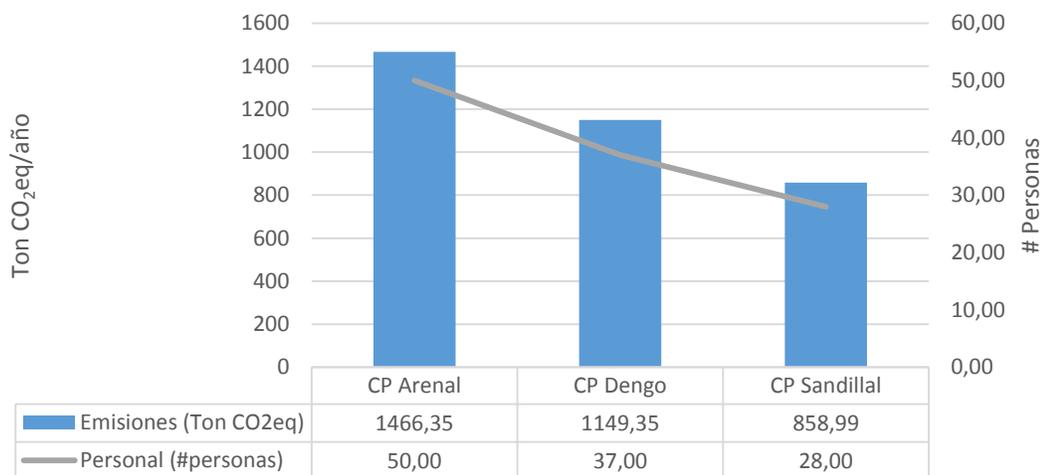


Figura 9. Relación entre la generación de emisiones de GEI y la cantidad de personal del CG ArCoSa para el año 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015

El aumento del área adjudicada a los centros de producción se relaciona al aumento de las emisiones de GEI, ya que las toneladas de CO₂ totales emitidas aumenta conforme es mayor el área (Figura 10). El espacio físico de cada CP se relaciona con los recursos requeridos para su mantenimiento como por ejemplo el número de vehículos, consumo de energía eléctrica, existencia de aires acondicionados, entre otros. El área de embalses se incluye dentro de área total de cada CP, por esta razón el CP Dengo muestra un comportamiento distinto atribuible al tamaño reducido de su embalse en comparación con los otros CPs estudiados y su ubicación en en CP Arenal y no en un área aparte.

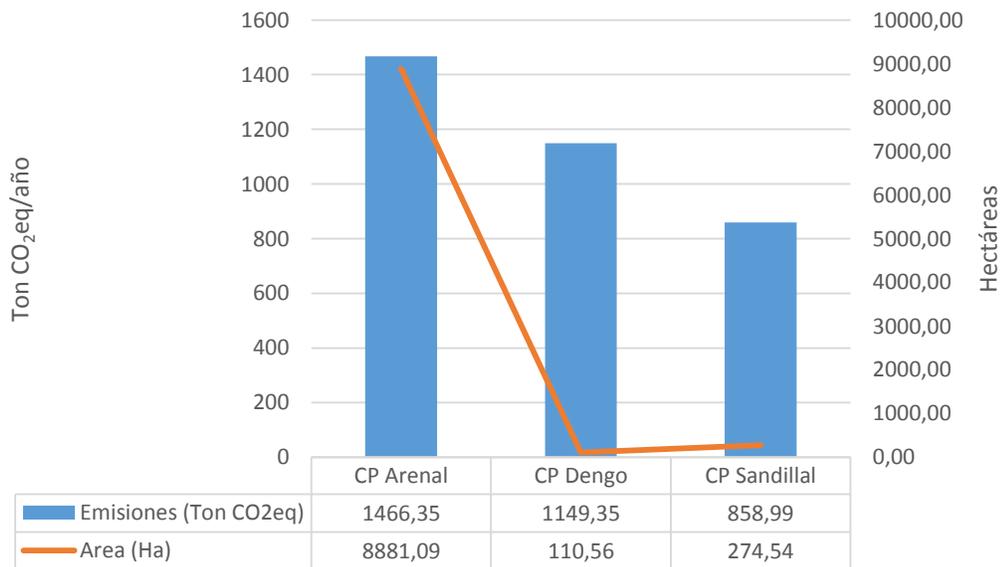


Figura 10. Relación entre la generación de emisiones de GEI y el área del CG ArCoSa para el año 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se pueden considerar eficientes, en términos de la generación de emisiones, aquellos centros de producción que en comparación con otros utilizan menores recursos como espacio físico y por ende cantidad de personal y producen más energía eléctrica. Bajo esta premisa el CP Dengo es el más eficiente en términos de generación de emisiones de GEI

b. Incertidumbre del Inventario de emisiones de GEI

Las fuentes de incertidumbre identificadas para los datos de actividad se relacionan mayoritariamente con la ausencia de datos, y en el caso de los factores de emisión, con el uso de valores por defecto debido a la inexistencia de incertidumbres para los factores de emisión nacionales, lo cual introduce un sesgo importante al cálculo de la Huella que solo se puede reducir con el desarrollo a nivel país de datos propios (cuadro 7).

Cuadro 7. Identificación de fuentes de incertidumbres del inventario de emisiones de GEI del CG ArCoSa 2014.

Tipo de causa	Fuentes de incertidumbres	
	Datos de actividad	Factores de emisión
Falta de exhaustividad	Se presenta en la recolección de números de ingresos de personas a los centros de producción.	No existen Factores de Emisión para todas las fuentes de emisiones identificadas. Tampoco datos de incertidumbre específicos para estos.
Falta de datos	En el caso de Sandillal no existen datos para el cálculo de emisiones por generación de aguas residuales. En los 3 CP no existen datos exactos de los consumos de gas refrigerante.	
Modelo	El uso de factores de emisión y datos actividad no es el más representativo para el cálculo de las emisiones, pero es el económicamente más rentable.	

Cuadro 7. Identificación de fuentes de incertidumbres del inventario de emisiones de GEI del CG ArCoSa 2014 (parte 2).

Tipo de causa	Fuentes de incertidumbres	
	Datos de actividad	Factores de emisión
Falta de representatividad	En algunos casos, como por ejemplo la generación de emisiones por aguas residuales, el número de personas de ingreso no es realmente representativo de la cantidad de descargas fecales realizadas.	Para la energía de consumo propio el factor de emisión utilizado no es representativo.
Error de medición	Se asocia al error de los instrumentos de medición o bien en la transcripción de datos presentes en bases de datos primarias a secundarias.	

Fuente: Elaboración propia, 2015

De acuerdo con la información disponible (presentada en el anexo 4) la incertidumbre del inventario de emisiones de GEI para cada CP se presenta en el cuadro 8. Los cálculos detallados se muestran en el Anexo 5.

Cuadro 8. Incertidumbre total del inventario de GEI por Centro de Producción del CG ArCoSa para el año 2014.

Centro de producción	Emisiones (Ton CO₂eq)	Incertidumbre %
CP Arenal	1466,35	±27
CP Dengo	1149,35	±25
CP Sandillal	858,99	±27
TOTAL	3474,70	±26

Fuente: Elaboración propia, 2015

c. Gestión de la calidad del Inventario de Emisiones

La organización cuenta con un Procedimiento de cuantificación y elaboración de informes de GEIs (ICE, 2014) donde se consideran la mayoría de requisitos establecidos por la norma 14064-1 para la gestión de la calidad del inventario.

Se puntualizan las recomendaciones para la mejora en la inclusión del Sistema de Huella de Carbono al Sistema Integrado de Gestión actual:

- Crear un manual para el desarrollo del inventario donde especifique y ejemplifique la aplicación de las normas de Huella de Carbono en los Centros de Producción.
- Especificar los requerimientos para la formación de un equipo de trabajo de desarrollo y seguimiento del inventario, así como sus responsabilidades.
- Oficializar las evidencias y fuentes de información para el desarrollo del inventario, principalmente en lo referente a datos de actividad y su incertidumbre.
- Autorizar la metodología para identificación de fuentes de emisión mediante la valoración de aspectos e impactos ambientales.
- Utilizar los resultados del análisis de categorías principales para priorizar acciones de mejora de calidad de datos e incertidumbre.

Además, con el objetivo de dar seguimiento al sistema y fortalecer las capacidades del equipo de trabajo se estableció un programa de capacitación referente a Huella de Carbono y el desarrollo de inventarios e informes de GEI. El programa en mención, tuvo como objetivo meta al equipo de trabajo del desarrollo del inventario y considero los temas de:

Cuadro 9. Programa de capacitación de Huella de Carbono del CG ArCoSa.

Tema	Objetivo	Contenido
Introducción al proceso de Huella de Carbono	Comprender los conceptos básicos relacionados con el desarrollo de iniciativas de Carbono Neutralidad en las organizaciones	Conceptos básicos de cambio climático Marco legal de cambio climático en Costa Rica Plan piloto de Huella de Carbono en el Negocio de Generación ISO 14064
Aplicación del Sistema de Gestión de Huella de Carbono en los Centros de Producción	Comprender como se desarrollan los procesos de Carbono Neutralidad en los Centros de Producción (uso de herramientas, registros y formatos)	Cómo identificar fuentes de emisión de GEI en el Centro de Producción Cómo calcular las emisiones de GEI, determinación de factores de emisión y datos de actividad Cómo elaborar reportes de inventario de emisiones de GEI según norma ISO 140641. Punto 7
Proceso de verificación de Huella de Carbono	Conocer el proceso de verificación de Huella de Carbono de acuerdo con la norma ISO 14064-3	ISO 14064-1. Punto 8 ISO 14064-3

Fuente: Elaboración propia, 2015

6.2 Análisis de emisiones y tecnologías de reducción de GEI en Centros de Generación ArCoSa

6.2.1 Análisis de las emisiones de GEI del CG ArCoSa

El 95% de las emisiones generadas son resultado de las fuentes de emisión: generación de aguas residuales y consumo de electricidad por servicio propio y servicio al cliente. En los tres centros de producción solamente la fuente de generación de “consumo de combustibles por vehículos” se destacó como una fuente de importante seguimiento (Cuadro 10).

Considerando que se evaluaron 10 fuentes de emisión se determina que aproximadamente del 70% de las fuentes de emisión no son relevantes en la cuantificación de las emisiones totales del inventario de cada centro de producción y que estas fuentes no afectan significativamente los resultados de la incertidumbre.

Cuadro 10. Clasificación de importancia de fuentes de emisión de GEI del CG ArCoSa 2014.

	CP Arenal	CP Dengo	CP Sandillal
Categorías principales	Generación de aguas residuales	Generación de aguas residuales	Generación de aguas residuales
	Consumo de electricidad (servicio al cliente)	Consumo de electricidad (servicio propio)	Consumo de electricidad (servicio propio)
	Consumo de electricidad (propio)		
Importante seguimiento	Consumo de combustible por vehículos	Consumo de combustible por vehículos	Consumo de combustible por vehículos
Poco Relevantes	Consumo de combustible por maquinaria mayor y menor	Consumo de electricidad (servicio al cliente)	Consumo de electricidad (servicio al cliente)

Cuadro 10. Clasificación de importancia de fuentes de emisión de GEI del CG ArCoSa 2014 (parte 2).

	CP Arenal	CP Dengo	CP Sandillal
Poco Relevantes	Consumo de sustancias refrigerantes en aires acondicionados	Consumo de combustible por maquinaria mayor y menor	Consumo de sustancias refrigerantes en aires acondicionados
	Generación de emisiones consumo de gases	Consumo de sustancias refrigerantes en aires acondicionados	Consumo de combustible por maquinaria mayor y menor
	Consumo de aceites y lubricantes	Generación de emisiones consumo de gases	Generación de emisiones consumo de gases
	Consumo de sustancias refrigerantes en equipo doméstico	Consumo de sustancias refrigerantes en vehículos	Consumo de sustancias refrigerantes en vehículos
		Consumo de sustancias refrigerantes en equipo doméstico	Consumo de sustancias refrigerantes en equipo doméstico

Fuente: Elaboración propia, 2015

Las fuentes que conforman el 95% de las emisiones totales (Generación de aguas residuales, Consumo de electricidad por servicio al cliente y servicio propio) poseen aportes significativamente distintos a las otras fuentes cuantificadas, tomando como referencia la generación de aguas residuales (Figura 11). El 5% de las emisiones restantes se distribuye entre 7 fuentes de emisiones de GEI (exceptuando el CP Arenal), que de acuerdo con la figura 12 son aportes generalmente menores al 5%

de las toneladas de CO₂ emitidas (0,0-20 Ton CO₂eq/año), inclusive en la mayoría de los casos los aportes son menores a 1TonCO₂eq/año.

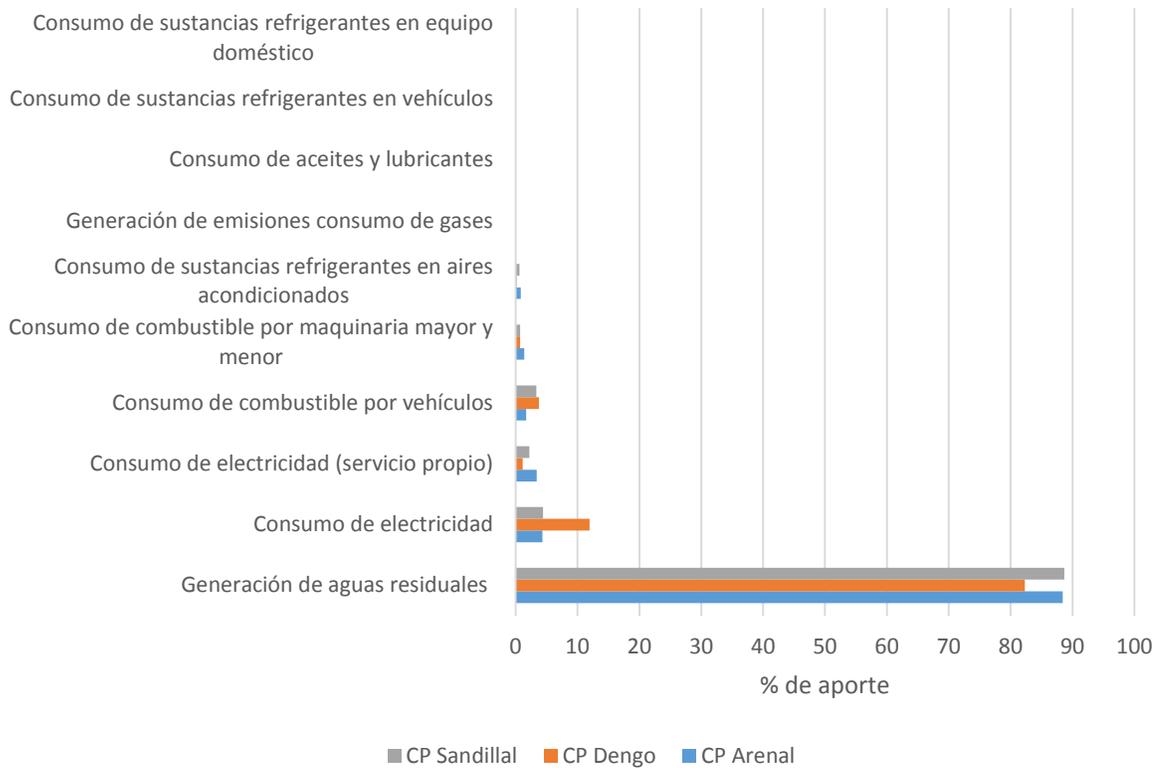


Figura 11. Aporte porcentual de emisiones de GEI del CG ArCoSa 2014.

Fuente: Elaboración propia, 2015

Se determina que la fuente de emisión de “Generación de aguas residuales” es la que tiene una representación más importante en el total de las emisiones cuantificadas, superior al 80% para los tres centros de producción. Además, se observa que en el rango de 0% a 10% de aportes se concentran el resto de las fuentes de emisión, inclusive las consideradas como de importante seguimiento y las no relevantes (exceptuando el consumo de electricidad por servicio propio del CP Dengo).

Se destacan otros aportes de emisiones que, aunque no se consideraron como prioritarios, se manifiestan entre los valores intermedios, entre estas fuentes se mencionan: el consumo de combustible por equipo menor y mayor y el consumo de gases refrigerantes en aires acondicionados (equipos estacionarios). Con respecto al

desarrollo de acciones de reducción, el consumo de energía por servicio al cliente y servicio propio debe considerarse como un solo aporte de emisiones, por lo tanto, aumenta su significancia en la priorización.

Considerando las premisas anteriores se concluye que en términos de disminución de la Huella de Carbono es significativo ejecutar acciones de reducción en las fuentes de: generación de aguas residuales, consumo eléctrico por servicio propio y servicio al cliente y consumo de combustible por vehículos. Acciones ejecutadas sobre otras áreas contribuirían a la reducción con muchísima menor significancia, pero de todos modos se consideran y se someten a la priorización de recursos y viabilidad.

6.2.2 Potencial actual de reducción de emisiones de GEI

La mejora ambiental de los Centros de Producción es un compromiso asumido desde hace varios años (2012) como parte del establecimiento del Sistema Integrado de Gestión, con el fin de disminuir los impactos negativos producto de la actividad de los Centros de Producción. Estas acciones, proyectos o programas (2011-2014) han impactado de forma directa o indirecta las emisiones cuantificadas para el año base (2014), por consiguiente, impactarán el potencial futuro de reducción de estas emisiones, principalmente en lo que concierne a las reducciones en fuente o reducciones internas.

Es importante mencionar que no en todos los casos se tiene claridad de la calidad verificable de los datos ni se precisa que los métodos de recolección sean los mismos año tras año, por lo tanto la comparación cuantitativa está sujeta a un sesgo relevante; sin embargo, es importante observar desde la perspectiva cualitativa las acciones de reducción implementadas.

En el cuadro 11 se resumen las acciones y programas que se han implementado en los Centros de Producción, que han impactado de forma directa o indirectas las emisiones de GEI. Además, se muestran los cambios u otras consideraciones importantes para comprender el cambio de las emisiones a través del tiempo.

Cuadro 11. Síntesis de acciones de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa, periodo 2011-2014.

Fuente de Emisión	Acciones	Centro de Producción			Reducción	Consideraciones
		Arenal	Dengo	Sandillal		
Consumo de combustibles transporte	Controles operacionales (seguimiento del consumo)	X	X	X	Cuantificable	Se registran en algunos casos cambios en la flotta vehicular
	Boletines informativos de manejo eficiente	X	X	X		
	Programas de mantenimiento preventivo de vehículos	X	X	X		
	Programa de optimización de uso de vehículos	X	X	X		
	Directrices para el consumo eficiente	X	X	X		
	Uso de transporte colectivo	X	X			
Consumo de combustible equipo mayor y menor	No se han implementado acciones de reducción del consumo	-	-	-	No cuantificable	Los consumos son dependientes del desarrollo de obras de mantenimiento en la mayoría de los casos.

Cuadro 11. Síntesis de acciones de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa, periodo 2011-2014 (parte 2).

Fuente de Emisión	Acciones	Centro de Producción			Reducción	Consideraciones
		Arenal	Dengo	Sandillal		
Consumo de aceites lubricantes	Cambio de sustancias por y sustancias biodegradables	X	X		No cuantificable	No es posible obtener información de consumo de sustancias en años anteriores.
Generación de aguas residuales	Mejora de sistema de drenaje (separación de aguas negras y aguas grises).	X	X	X	No cuantificable	La metodología de cuantificación de las emisiones de GEI no permite evidenciar la reducción.
	Uso de sustancias de limpieza biodegradables.	X	X	X		
	Análisis de aguas residuales	X	X	X		
Consumo de sustancias refrigerantes	Modernización de sistema de aire acondicionado en oficinas administrativas principales	X	X	X	No cuantificable	No es posible obtener información de especificaciones técnicas de años anteriores

Cuadro 11. Síntesis de acciones de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa, periodo 2011-2014 (parte 3).

Fuente de Emisión	Acciones	Centro de Producción			Reducción	Consideraciones
		Arenal	Dengo	Sandillal		
Consumo de gases	Eliminar aerosoles en actividades de limpieza y mantenimiento.	X			No cuantificable	No es posible obtener información de consumos de sustancias en años anteriores.
Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y servicio al cliente)	Charlas de sensibilización	X	X	X	Cuantificable	Se registran cambios en la infraestructura, como construcción de nuevas instalaciones. Muchas acciones se han implementado parcialmente en las instalaciones (principalmente en áreas administrativas), por lo tanto, deben finalizarse.
	Existencia y revisión de ayuda audiovisual	X	X	X		
	Inventarios de consumo (equipos y luminarias)	X	X			
	Corrección de factor de potencia	X				
	Automatización de sistemas de encendido de aires acondicionados e iluminación en áreas administrativas	X	X			

Cuadro 11. Síntesis de acciones de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa, periodo 2011-2014 (parte 4).

Fuente de Emisión	Acciones	Centro de Producción			Reducción	Consideraciones
		Arenal	Dengo	Sandillal		
Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y servicio al cliente)	Sustitución de luminarias por equipo eficiente en áreas administrativas	X	X			
	Sustitución de luminarias por equipo eficiente en otras áreas		X		Cuantificable	Se registran cambios en la infraestructura, como construcción de nuevas instalaciones. Muchas acciones se han implementado parcialmente en las instalaciones (principalmente en áreas administrativas), por lo tanto, deben finalizarse.
	Sustitución de medidores de servicio propio	X	X			
	Cambio de equipos y modernización de sistemas (control y regulación)	X				
	Cambio de controles (variadores de frecuencia de grúa viajera)	X				
Programas de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos	X					

Fuente: Elaboración propia, 2015 / **Nota:** "No cuantificable" hace referencia aquellas acciones que no se consideran como reducciones, ya sea porque no es posible identificar su impacto en la reducción de emisiones o porque no se poseen datos para cuantificarlas, y por consiguiente se les asigna un valor de cambio en el periodo de cálculo (2011-2014) igual a 0.

Muchas de las acciones de mejora son similares para los tres Centros de Producción, lo cual refleja que el proceso de mejora ambiental se ha desarrollado de forma paralela en los CPs. En general, el área de consumo eléctrico es sobre el cual se registran más acciones implementadas, seguido del consumo de combustible (Cuadro 11). En estos casos podemos relacionar los altos consumos en estos rubros y los costos asociados a los mismos, lo cual los ubica como áreas prioritarias para la ejecución de acciones de reducción.

Por otra parte, existen áreas donde no se registra la ejecución de acciones de mejora ambiental, o estas son limitadas, a lo cual podemos atribuir el efecto contrario, o sea, el poco peso en términos de costos que se asocian a estos consumos o bien, la limitación para ejecutar acciones de reducción, ya que los consumos son necesarios, como por ejemplo la generación de aguas residuales. En la mayoría de estos casos la ejecución de acciones de mejora ambiental responde a directrices ambientales institucionales, como por ejemplo directrices de compras verdes que restringen la compra de aerosoles y exigen el consumo de productos de limpieza biodegradables.

Las reducciones realizadas para el periodo de tiempo evaluado no fueron significativas, a excepción del CP Sandillal, que presenta el porcentaje más alto de reducción de las emisiones (Cuadro 12). El CP Dengo es el centro para el cual se identifican cambios negativos para el periodo cuantificado.

Cuadro 12. Reducciones de emisiones de GEI periodo 2011-2014 en el CG ArCoSa.

Centro de Producción	Ton CO₂eq reducidas o evitadas	% Reducción
CP Arenal	5,26	0,01
CP Dengo	-3,58	-0,31
CP Sandillal	38,07	2,74

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el análisis de los datos de manera independiente para cada año que conforma el periodo de comparación es posible observar que solamente el CP Sandillal presenta

una tendencia de reducción para el periodo de tiempo evaluado. Los centros de producción Arenal y Dengo presentan aumentos en el año 2012 con respecto al 2011, disminuyen para el año 2013 y presentan un aumento en el año 2014, siempre por debajo del año 2012 (figura 12).

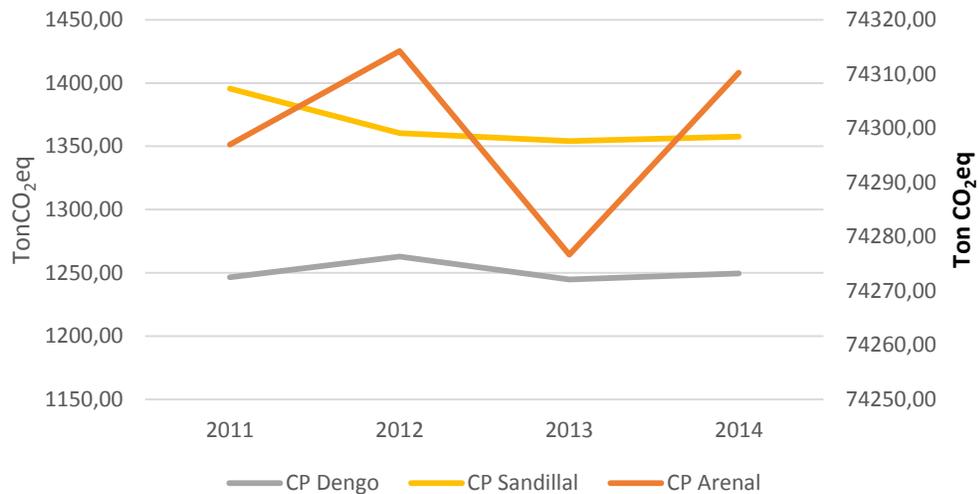


Figura 12. Tendencia de reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa periodo 2011-2014 (margen der aplica para CP Arenal).

Fuente: Elaboración propia, 2016.

De acuerdo con esta información se puede definir que el año 2012 es más representativo para la evaluación de reducciones de las emisiones, dado a que se registran aumentos importantes en los CPs Dengo y Arenal el periodo 2011-2012 producto de aumentos en la infraestructura que influyen en las reducciones totales (cuadro 13).

Cuadro 13. Escenario de reducción de emisión de GEI del CG ArCoSa periodo 2012-2014.

Centro de Producción	Ton CO ₂ eq reducidas	% Reducción
CP Arenal	4,48	0,01
CP Dengo	13,00	1,03
CP Sandillal	2,85	0,21

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para el periodo 2012-2014 los cambios registrados son positivos para los tres centros de producción, con variaciones siempre por debajo del 2% de las emisiones totales cuantificadas para el año 2014. El porcentaje de reducción disminuye para el CP Sandillal dado a que como se observa en la figura 12 durante el periodo 2011-2012 este CP presenta una reducción de emisiones importante (Figura 12).

A pesar de que las reducciones generales presentan porcentajes pequeños es necesario estudiar las reducciones registradas por fuente de emisión identificada. En este caso el CP Arenal, es el único centro de producción que presenta cambios negativos para las fuentes de consumo combustible por vehículos y consumo de electricidad, en orden ascendente (cuadro 14). En el caso del consumo de energía por servicio propio no fue posible obtener datos para el año 2011, por lo tanto, no es posible determinar si las acciones de reducción del consumo eléctrico se vieron reflejadas en esta área (cuadro 14). De acuerdo con consultas realizadas al personal de planta se describen como factor de aumento 2011-2012 la construcción de nuevas infraestructuras e instalación de nuevos equipos que requieren el uso de soldadura y esmeriladoras que aumentan significativamente el consumo eléctrico.

En el caso del CP Dengo se observan reducciones importantes para las fuentes de: consumo de combustibles (24%) y en total para el consumo de energía eléctrica se registra una reducción de aproximadamente el 11% (cuadro 14).

Las reducciones para el CP Sandillal siguen siendo positivas, en este caso la reducción más alta se registra para el consumo de energía (servicio propio y servicio al cliente) con reducciones cercanas al 60%, seguida de la fuente de consumo de combustible (1,4%) (cuadro 14).

Cuadro 14. Reducciones de emisiones de GEI por fuente de emisión del CG ArCoSa periodo 2011-2014.

Fuente de emisión	Arenal	Dengo	Sandillal
	% de reducción		
Consumo de combustible por vehículos	-2,987	24,055	1,451
Consumo de electricidad (servicio propio)	0,000	9,418	11,610
Consumo de electricidad (servicio al cliente)	-48,626	2,952	50,318

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En general se puede observar que las acciones de reducción ejecutadas en las fuentes evaluadas han resultado en un cambio positivo para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, presentando porcentajes variantes para cada CP.

De acuerdo con la información presentada se puede determinar que la mayoría de fuentes de generación poseen un alto potencial de reducción de emisiones, ya que no registran la aplicación de alternativas de reducción en años anteriores, pero de acuerdo con la priorización de fuentes no corresponden a fuentes de emisión prioritarias. Por otra parte, es importante destacar las reducciones logradas en las fuentes consideradas como prioritarias y considerar que estas tienen actualmente un margen de reducción menor.

6.2.3 Alternativas de reducción de emisiones de GEI

De acuerdo con el “Reconocimiento de Alternativas de Reducción” (Anexo 1) se identificaron alternativas a nivel interno y externo para la disminución de las emisiones de GEI cuantificadas. Las alternativas de reducción identificadas para cada centro de producción se presentan a continuación.

6.2.3.1 Alternativas internas de reducción

En el cuadro 15 se muestran las alternativas de reducción identificadas en conjunto con el equipo de trabajo de cada centro de producción para la reducción de emisiones de GEI al corto plazo.

La mayoría de alternativas de reducción identificadas en el cuadro 15 se relacionan principalmente con la fuente de consumo eléctrico (propio y de servicio al cliente), seguida por el consumo de combustibles. Estas áreas son las que se traducen en mayores costos, por lo tanto, poseen controles más estrictos y un panorama más amplio por parte del personal técnico sobre las oportunidades de mejora.

Cuadro 15. Alternativas de reducción interna de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa.

Fuente de Emisión	Nombre del proyecto o programa		
	CP ARENAL	CP DENGO	CP SANDILLAL
Generación de aguas residuales	No se identifican acciones	No se identifican acciones	No se identifican acciones
Consumo de electricidad (servicio al cliente y servicio propio)	<p>Dar continuidad y mejorar las campañas de concientización.</p> <hr/> <p>Automatización y mejora de iluminación en niveles inferiores</p> <hr/> <p>Implementación de sistema de emergencia como sistema de enfriamiento alternativo en épocas de invierno</p> <hr/> <p>Separación del sistema de enfriamiento por unidades generadoras</p> <hr/> <p>Cambio de iluminación externa convencional a iluminación eficiente</p>	<p>Dar continuidad y mejorar las campañas de concientización.</p> <hr/> <p>Cambio de sistema eléctrico e iluminación del Almacén</p>	<p>Dar continuidad y mejorar las campañas de concientización para la reducción de consumo eléctrico.</p>

Cuadro 15. Alternativas de reducción interna de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa (parte 2).

Fuente de Emisión	Nombre de la proyecto o programa		
	CP ARENAL	CP DENGO	CP SANDILLAL
Consumo de combustible por vehículos	Programa de optimización del uso de vehículos	Programa de optimización del uso de vehículos	Programa de optimización del uso de vehículos
	Campaña de concientización para el ahorro de combustible.	Campaña de concientización para el ahorro de combustible.	Campaña de concientización para el ahorro de combustible.
	Programa de mantenimiento preventivo de vehículos.	Programa de mantenimiento preventivo de vehículos.	Programa de mantenimiento preventivo de vehículos.
Consumo de combustible por maquinaria mayor y menor	No se identifican acciones	No se identifican acciones	No se identifican acciones
Consumo de sustancias refrigerantes (aires acondicionados)	Reemplazo de equipos obsoletos por mejores tecnologías	Reemplazo de equipos obsoletos por mejores tecnologías	Reemplazo de equipos obsoletos por mejores tecnologías
Generación de emisiones consumo de gases	No se identifican acciones	No se identifican acciones	No se identifican acciones

Cuadro15. Alternativas de reducción interna de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa (parte 3).

Fuente de Emisión	Nombre de la proyecto o programa		
	CP ARENAL	CP DENGO	CP SANDILLAL
Consumo de sustancias refrigerantes en vehículos	Programa de mantenimiento preventivo de vehículos.	Programa de mantenimiento preventivo de vehículos.	Programa de mantenimiento preventivo de vehículos.
Consumo de sustancias refrigerantes en equipo doméstico	Reemplazo de equipos obsoletos por mejores tecnologías	Reemplazo de equipos obsoletos por mejores tecnologías	Reemplazo de equipos obsoletos por mejores tecnologías
Consumo de sustancias químicas (aceites y lubricantes)	No se identifican acciones	No se identifican acciones	No se identifican acciones

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Es importante denotar que la identificación de alternativas anterior es dependiente de la participación del equipo de trabajo, por lo cual en algunos casos no se identifican alternativas para algunos Centros de Producción.

En el cuadro 16 se describen en detalle las alternativas de reducción interna generales identificadas para aplicar en los tres centros de producción que conformar el Centro de Generación ArCoSa. Se puntualiza la ausencia de datos directos que permitan conocer con precisión el potencial de reducción de emisiones de GEI de cada alternativa. Sin embargo, se destacan los costos reducidos por la implementación de dichas alternativas y su carácter preventivo con respecto a la generación de emisiones.

Cuadro 16. Descripción de alternativas internas generales de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa.

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones
Campaña de concientización para la reducción de consumo energético	Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y Servicio al cliente)	Tecnología de prevención de la contaminación.	Extensión de material informativo semestralmente referente a prácticas de ahorro en el consumo eléctrico. Pueden ser ayudas visuales o boletines informativos distribuidos vía correo.	No se da seguimiento al impacto del material enviado. No se puede evidenciar cuantitativamente en la reducción del consumo energético la eficacia de las alternativas.	₡ -	Según la teoría, las prácticas de consumo pueden lograr ahorros del consumo eléctrico entre un 2% y un 10% (Daura 2007).
Campaña de concientización de ahorro de combustibles	Consumo de combustibles	Tecnología de prevención de la contaminación	Divulgación de material informativo referente a buenas prácticas de consumo, políticas o directrices de la empresa relacionadas al consumo de combustibles.	No se da seguimiento al impacto del material enviado. No se puede evidenciar cuantitativamente en la reducción del consumo la eficacia de las alternativas.	₡ -	El manejo eficiente puede lograr reducciones del 15% al 40% de consumo combustible por vehículo (Treatise 2005, Uruguay eficiente sf, MINAE sf)

Cuadro 16. Descripción de alternativas internas generales de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa (parte 2).

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones
Optimización del uso de vehículos	Consumo de combustibles	Tecnología de prevención de la contaminación	Consiste en el establecimiento de directrices para el uso planificado de los recursos móviles (Ver directrices en Figura 13).	No es posible relacionar las reducciones a las acciones implementadas. No es posible asegurar su cumplimiento continuo debido a factores externos que influyen en el cumplimiento de las directrices.	₡-13 800 (por viaje evitado a la capital)	0,105Ton CO ₂ eq/por viaje evitado (38,48 L de Diesel)
Programa de mantenimiento preventivo de equipos	Consumo de combustibles, consumo de energía eléctrica y consumo de gases refrigerantes	Tecnología de prevención de la contaminación	Consiste en dar seguimiento y continuidad a las acciones de mantenimiento de equipos requeridos para asegurar su funcionamiento eficiente	No es posible relacionar las reducciones a las acciones implementadas.	₡ -	Ahorros del 30% en energía o combustible (Ruiz 2009). En el caso de vehículos el ahorro de combustible puede alcanzar el 20% (INECC 2015)

Cuadro 16. Descripción de alternativas internas generales de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa (parte 3).

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones
Cambio de equipos obsoletos	Consumo de combustibles, consumo de electricidad y consumo de gases refrigerantes	Reducción de la contaminación	Determinar las directrices para la compra de equipos nuevos, de forma que sean más amigables con el medio ambiente (Ver consideraciones en la Figura 14).	Indisponibilidad presupuestaria para adquirir activos más eficientes y más costosos.	Depende del tipo de tecnología seleccionada	Depende del tipo de tecnología seleccionada

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Como parte de los lineamientos a considerar para la optimización del uso de transporte se destacan las mostradas en la figura 13.

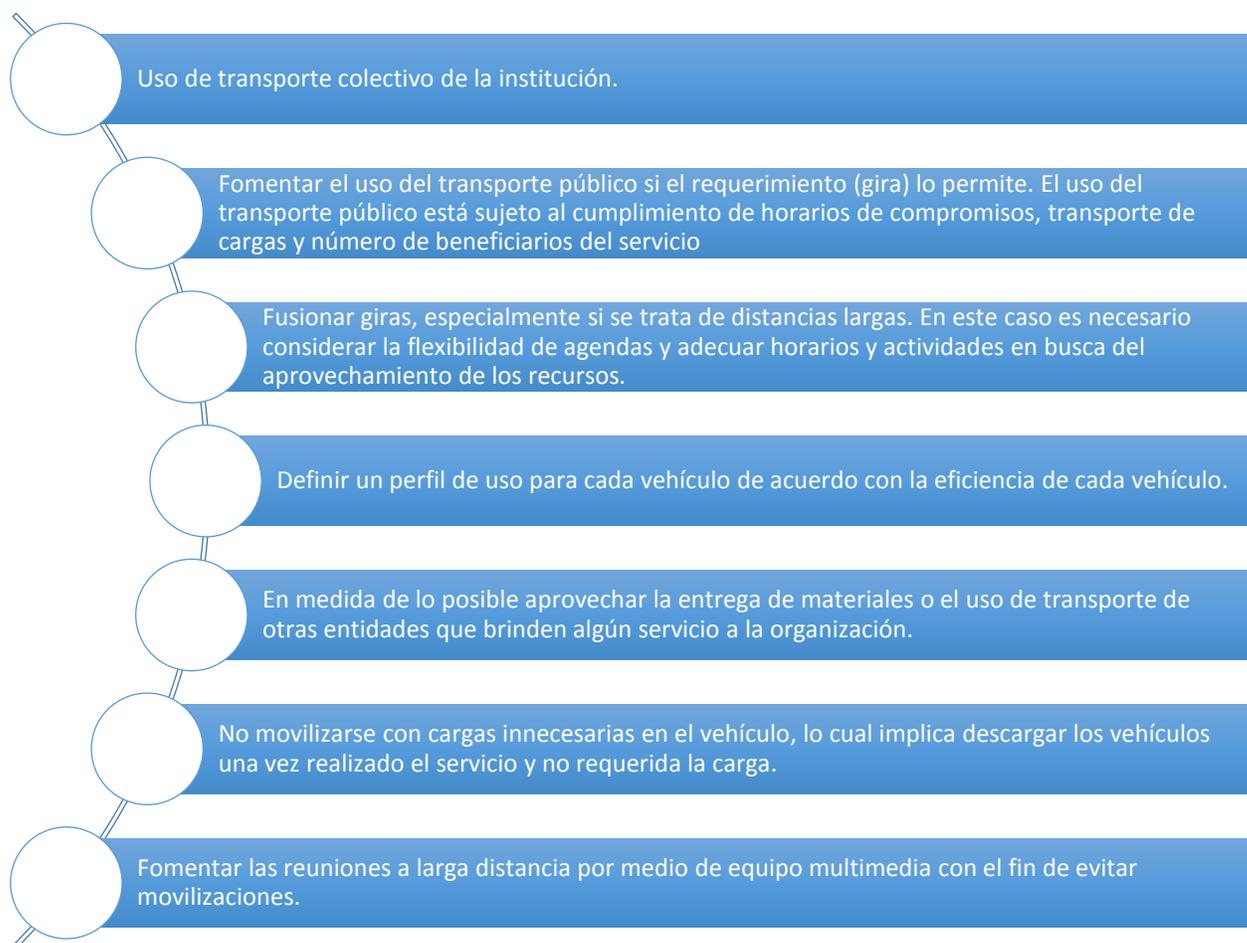


Figura 13. Directrices para la optimización de vehículos en el CG ArCoSa.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se muestran las consideraciones para hacer reemplazos de tecnología de aires acondicionados cuando estos muestren averías.

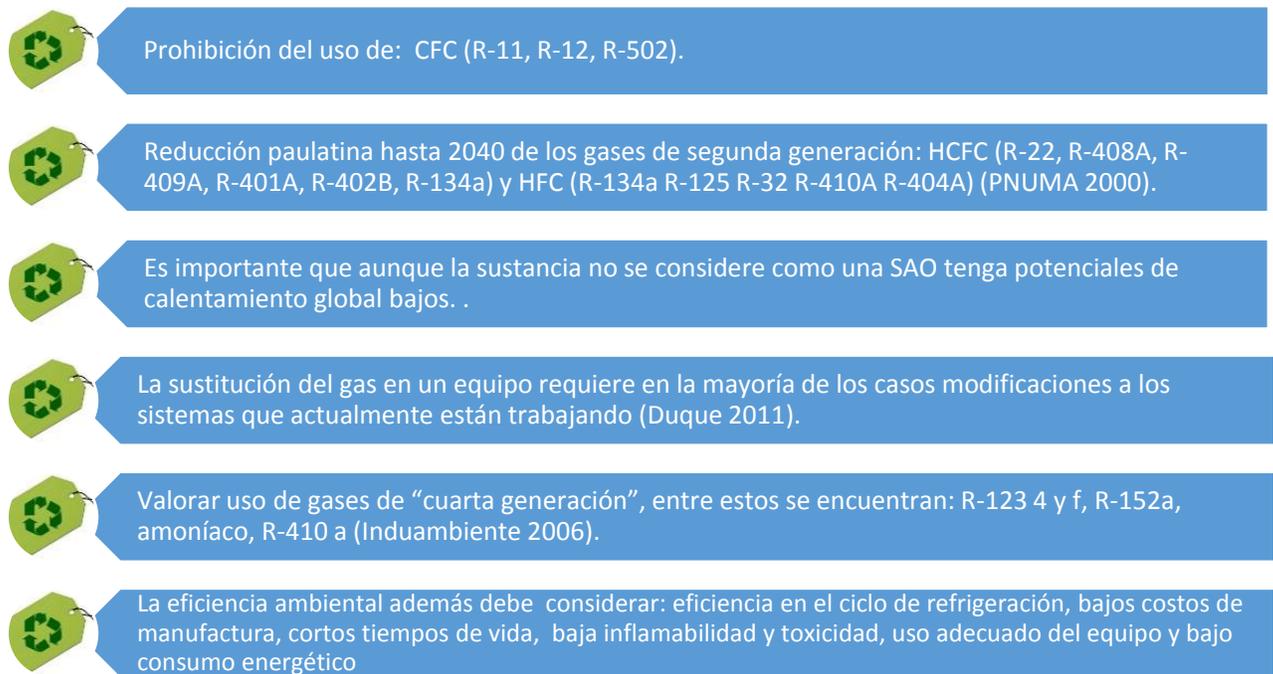


Figura 14. Consideraciones para la sustitución de tecnologías de aire acondicionado en el CG ArCoSa.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el cuadro 17 se describen en detalle las alternativas de reducción para el Centro de Producción Arenal y Dengo. En el Anexo 7 “Especificaciones técnicas y de cálculo de alternativas de reducción” se muestran los detalles referentes al diseño de cada alternativa de reducción de emisiones de GEI.

Las reducciones por centro de producción corresponden a acciones de mitigación, que permiten reducir las emisiones cuantificadas para el año base, gracias a mejoras tecnológicas de equipos o sistemas que conforman los centros de producción. Se destaca la importancia de realizar estudios más profundos sobre distribución del consumo eléctrico, eficiencia de equipos de combustión, refrigeración y eléctricos utilizados por cada CP para poder establecer una mayor cantidad de alternativas de reducción de emisiones de GEI así como para poder realizar cálculos de reducción más precisos y exactos.

Cuadro 17. Alternativas de reducción de emisiones de GEI para el Centro de Producción Arenal y Dengo.

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones (Ton CO₂eq/año)
Centro de Producción Arenal						
Automatización de iluminación en niveles inferiores de casa de máquinas	Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y Servicio al cliente).	Reducción de la contaminación	Cambio del sistema de iluminación actual por iluminación de consumo eficiente (Tecnología LED) y sistemas de automatización de iluminación	Incapacidad presupuestaria para ejecución en el año 2016 para la compra de materiales.	₡22.883.820,60	2,42
Cambio de iluminación externa convencional de bajo consumo	Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y Servicio al cliente).	Reducción de la contaminación	Consiste en el cambio de la iluminación exterior, entiéndase postes de iluminación, por tecnologías de menor consumo (Tecnología LED)	Disponibilidad de tiempo para realizar el diagnóstico. Limitantes presupuestarias para 2016.	₡1.270.728,0	0,53

Cuadro 17. Alternativas de reducción de emisiones de GEI para el Centro de Producción Arenal y Dengo (parte 2).

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones (Ton CO₂eq/año)
Centro de Producción Arenal						
Uso del sistema de emergencia como sistema de enfriamiento alternativo	Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y Servicio al cliente).	Reducción de la contaminación	Utilizar el sistema de emergencia como sistema alternativo de enfriamiento. Su uso debe definirse mediante un Protocolo de uso del sistema de emergencias como sistema alternativo de enfriamiento, para el cual debe investigarse las condiciones específicas para realizar esta operación de manera viable y segura.	Indisponibilidad de tiempo durante el 2016 del personal técnico para realizar los estudios requeridos. No contar con los caudales suficientes durante todo el año para utilizar el volumen de agua requerido de la tubería de alta presión lo cual depende de las demandas de generación de energía eléctrica y las condiciones climáticas de la zona.	€0	23,16

Cuadro 17. Alternativas de reducción de emisiones de GEI para el Centro de Producción Arenal y Dengo (parte 3).

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones (Ton CO₂eq/año)
Centro de Producción Arenal						
Separación de sistema de enfriamiento por unidad generadora	Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y Servicio al cliente).	Reducción de la contaminación	Separar el funcionamiento de las bombas del sistema de enfriamiento por unidad generadora evitando el sobre esfuerzo de las bombas cuando no operan todas las unidades.	La reducción del consumo eléctrico alcanzado es dependiente del funcionamiento de las unidades generadoras (demanda energética), solo se manifestaría el ahorro cuando funcione solamente una unidad y no es posible determinar actualmente este comportamiento ya que obedece a entidades externas encargadas de planificar la generación de energía eléctrica a nivel nacional.	Desconocidos	42,3

Cuadro 17. Alternativas de reducción de emisiones de GEI para el Centro de Producción Arenal y Dengo (parte 4).

Acción	Fuente de emisión de GEI	Clasificación	Descripción	Limitantes	Costos	Reducción de emisiones (Ton CO ₂ eq/año)*
Centro de Producción Dengo						
Cambio de sistema eléctrico e iluminación almacén Dengo	Consumo de energía eléctrica (Servicio propio y Servicio al cliente).	Reducción de la contaminación	Consiste en el cambio de iluminación existente en el Almacén Dengo por tecnologías de menor consumo (LED)	Disponibilidad de tiempo para realizar el diagnostico. Limitantes presupuestarias para 2016.	₡3.587.941,00	0,06

Fuente: Elaboración propia, 2016.

* Las especificaciones sobre los cálculos reducción de las emisiones se muestran en Anexo 7 (Especificaciones técnicas y de cálculo de alternativas de reducción de emisiones).

Para el Centro de Producción Sandillal no se desarrollan alternativas de reducción dado a que no se identificaron con anterioridad.

6.2.3.2 *Proyectos de compensación*

Estas reducciones pueden definirse como compensaciones Tipo 3 (Implementación de proyectos de reducción) de acuerdo con la Norma Nacional para la Gestión de Huella de Carbono (INTECO 2009). Corresponden a acciones desarrolladas por el Centro de Generación para la mejora ambiental de los impactos causados por sus operaciones, que no se ejecutan directamente sobre las fuentes de emisión ni se ubican dentro de los límites físicos establecidos por el inventario, por lo que no se pueden definir como reducciones.

El desarrollo de estas acciones por parte de la organización es producto del compromiso socio-ambiental hacia áreas cercanas a las instalaciones físicas del Centro de Producción con influencia directa o indirecta, por ejemplo, para una planta hidroeléctrica, las acciones de conservación se extiende al área que pueda afectar la cuenca hidrográfica. Un área de influencia se definen como; “el entorno en el cual los Centros de Trabajo pueden generar y recibir posibles impactos, estos pueden ser directos o indirectos”. De acuerdo con la cadena de valor se identifican como partes interesadas, quienes intervienen en la calidad del agua, la principal fuente del proceso productivo de la hidroelectricidad.

La gestión socio-ambiental se ejerce cuando se identifican los impactos y se establecen las medidas (comunicados, reuniones con representantes de las áreas de influencia, legislación aplicable, monitoreo, proyectos, entre otros) sobre las partes interesadas con el fin de minimizar los impactos identificados. Las medidas se implementan a través de programas; forestales, biológicos, sociales y agro silvopecuario que se lideran por profesionales de las distintas especialidades, que conforman el Centro de Servicios de Ambiente y Cuencas (CSAC), cada uno a cargo de trabajar sobre problemáticas específicas. En el cuadro 18 se muestran la relación existente entre diferentes componentes de las áreas de influencia y la generación de emisiones de GEI.

Cuadro 18. Componentes de las áreas de influencia y su relación con la generación de emisiones de GEI del CG ArCoSa.

Componente del área de influencia	Acciones que generan impactos	Impacto en la generación de emisiones
Empresas	Vertido de aguas residuales	Aumento en los contenidos de materia orgánica de los embalses y con ello creación de condiciones propicias para la generación de emisiones de GEI.
Comunidades	Generación de sedimentos por malas prácticas	Creación de condiciones propicias para la generación de emisiones de GEI, por contenido de materia orgánica en sedimentos.
	Contaminación a cuerpos de agua	Aumento en los contenidos de materia orgánica de los embalses y con ello creación de condiciones propicias para la generación de emisiones de GEI.
Fincas	Emisiones	La descomposición de residuos fecales producto de la actividad pecuaria genera emisiones de GEI. Dependiendo del tipo de fertilizante utilizado y su uso promueve la generación de emisiones de GEI.
	Residuos sólidos	Aumento en los contenidos de materia orgánica de los embalses y con ello creación de condiciones propicias para la generación de emisiones de GEI. La descomposición de residuos fecales producto de la actividad pecuaria genera emisiones de GEI.

Cuadro 18. Componentes de las áreas de influencia y su relación con la generación de emisiones de GEI del CG ArCoSa (parte 2).

Componente del área de influencia	Acciones que generan impactos	Impacto en la generación de emisiones
Fincas	Vertido de Aguas residuales	Aumento en los contenidos de materia orgánica de los embalses y con ello creación de condiciones propicias para la generación de emisiones de GEI.
Ambiente	Calidad de agua	Afectan las condiciones para la generación de emisiones en los embalses.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el cuadro 19 se muestran las acciones desarrolladas por cada programa ambiental del CSAC que se relacionan la generación de emisiones de GEI de acuerdo con los impactos mostrados en el cuadro anterior.

Es importante, recalcar que, a partir del desarrollo del presente proyecto, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero se convierte en un valor agregado que se decide sumar al desarrollo de acciones de control de impactos en las áreas de influencia. Por consiguiente, se pretende que los proyectos planteados a partir del 2015 para el control de impactos, además de cumplir con su fin principal, permitirán reducir las emisiones emitidas por el centro de generación.

Cuadro 19. Programas de control de impactos ambientales para la reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa.

Proyecto	Descripción	Impacto controlado	Indicador	Limitantes	Costos (¢)	Ton CO ₂ eq/2014-2018 capturadas*
Sistemas Silvopastoriles (SSP)	Establecimiento de pastos mejorados.	Erosión de suelos	Ha sembradas	<ul style="list-style-type: none"> • El seguimiento y mantenimiento de estos proyectos puede implicar importantes costos económicos. • Con respecto a los SSP ya establecidos pueden presentarse dificultades para determinar las condiciones de traspaso de emisiones de GEI capturadas por el sistema. • Con respecto al establecimiento de nuevos SSP no es posible asegurar la mantención de los mismos el periodo de tiempo requerido para poder contabilizar las emisiones de GEI capturadas. 	¢134.315,25	60,72

Cuadro 19. Programas de control de impactos ambientales para la reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa (parte 2).

Proyecto	Descripción	Impacto controlado	Indicador	Limitantes	Costos (¢)	Ton CO₂eq/2014-2018 capturadas
Manejo de residuos orgánicos	Establecimiento de Biodigestores tipo bolsa y adquisición de emisiones durante su vida útil (3 años). Durante el 2015: 3 biodigestores en fincas para el tratamiento de excretas de ganado bovino de leche.	Emisiones, Residuos sólidos, Aguas residuales	# Biodigestores instalados año/ Ton sedimento tratado al año	<ul style="list-style-type: none"> • El seguimiento y mantenimiento de estos proyectos puede implicar importantes costos económicos. • Con respecto al establecimiento de nuevos proyectos no es posible asegurar el adecuado funcionamiento de los mismos el periodo de tiempo determinado. 	¢748.396,3 3	842,52
Producción de abono orgánico	Se brindan microorganismos para la producción de abono orgánico con residuos de la actividad pecuaria. Durante el 2015 se produjeron 0,5Toneladas de abono.	Emisiones, Residuos sólidos, Aguas residuales	Ton residuo tratado/ Ton residuo procesado	<ul style="list-style-type: none"> • No se cuenta con mediciones de campo que permitan conocer las emisiones reales evitadas o capturadas. 	Desconocido	116,025

Cuadro 19. Programas de control de impactos ambientales para la reducción de emisiones de GEI del CG ArCoSa (parte 3).

Proyecto	Descripción	Impacto controlado	Indicador	Limitantes	Costos (¢)	Ton CO ₂ eq/2014-2018 capturadas
Reforestación y protección de áreas verdes en terrenos ICE	El CG ArCoSa cuenta con áreas (3 160ha) de bosque tipo secundario que protege	Erosión de suelos	Ton CO ₂ Acumulado	Se requiere generar datos científicos, mediciones de campo para poder conocer con exactitud las capturas de carbono. La generación de esta información requiere recursos de tiempo considerables que no permitirían contar con estas compensaciones hasta aproximadamente el 2017.	Costos de estudios de cuantificación (¢20 000 000)	10 Ton CO ₂ /ha (CNFL, 2014)

Fuente: Elaboración propia, 2016.

* Las especificaciones sobre los cálculos reducción de las emisiones se muestran en Anexo 7 (Especificaciones técnicas y de cálculo de alternativas de reducción de emisiones).

Se aclaran los siguientes aspectos sobre la información aportada en el cuadro 19:

- Los costos se calcularon de acuerdo con la experiencia de implementación de dichos proyectos durante el año 2015 y corresponden a un indicador por unidad de proyecto (hectárea, biodigestor o tonelada de abono).
- Los rubros que componen el total de costos incluyen solamente los costos relacionados a la inversión (producción de especies en viveros ICE o materiales, mano de obra, de traslado, siembra y monitoreo de un año).
- Los costos no incluyen la medición directa de CO₂ capturado y el seguimiento estricto durante la totalidad de tiempo que requiera el proyecto de mantenimiento y seguimiento, lo cual puede elevar potencialmente este rubro.
- Las estimaciones de capturas de CO₂ pueden mejorarse mediante el desarrollo de mediciones directas en campo o líneas base que permitan realizar proyecciones confiables sobre la captura de carbono. En el caso de los SSP la metodología de monitoreo del almacenamiento de carbono orgánico en sistemas forestales a utilizar consiste en estimar la diferencia en carbono almacenado en suelos y biomasa para sitios con y sin el proyecto sobre un período de tiempo específico. Propiamente el carbono puede monitorearse mediante técnicas de: modelaje, sensores remotos, y mediciones en campo. El uso de alguna de estas técnicas dependerá básicamente de la disponibilidad de recursos y del grado de detalle y precisión requeridos (Cárdenas *et al* 2012).

En general el uso de estos proyectos como reducciones (compensaciones) debe considerar una serie de variables que pueden afectar su viabilidad de implementación. A continuación, se describen las más importantes:

- Se deben establecer criterios contractuales distintos a los aplicados actualmente con los propietarios de las fincas donde se desarrollen los proyectos con el fin de acordar el uso de las emisiones de GEI capturadas.
- Investigar las implicaciones sociales posibles a generarse por la modificación de condiciones de negociación y cooperación del ICE con sus partes interesadas.
- Los proyectos requieren un seguimiento estricto, más detallado que el actual, que permita asegurar el funcionamiento adecuado de los proyectos durante el periodo de tiempo determinado y generar datos y

documentación que evidencie el adecuado funcionamiento. Este seguimiento puede aumentar los costos de desarrollo del proyecto.

- Se deben establecer controles más estrictos que permitan generar datos de campo más confiable y de ser posible realizar mediciones directas en campo para la obtención de datos.
- En otros casos, principalmente los relacionados con captura de biomasa, la cuantificación real de las capturas de CO₂ requiere de la inversión de mayores montos de dinero debido a los requerimientos de recursos humanos y equipos necesarios para el seguimiento respectivo.
- La cuantificación de las capturas de CO₂ por biomasa requiere el desarrollo de mediciones de campo que implican monitoreos constantes lo cual aumenta los costos de seguimiento.
- Es determinante realizar un estudio de costo-beneficio considerando el mejor escenario de cuantificación de capturas de carbono por establecimiento de los proyectos realizados.
- Se deben estimar los costos totales que incluyan el seguimiento de proyectos durante el periodo que sea requerido, ya que los actuales solo incluyen implementación o inversión inicial.
- En el caso de los biodigestores es determinante el aprovechamiento del gas producido.

6.3 Propuesta de reducción de emisiones

En el cuadro 20 se muestra el resumen de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa. La propuesta de reducción se realizó para el año 2018, considerando que hasta esta fecha se plantea la finalización en la ejecución de ciertas alternativas de reducción. La reducción de emisiones se basa en metas propuestas para la ejecución de cada alternativa programada durante el periodo 2014-2018, por lo tanto, los costos y la captura de carbono corresponden a aproximaciones basadas en experiencias anteriores (aplicación de algunas alternativas durante el año 2015).

Para el año 2018 es posible reducir aproximadamente un 32% (Ton CO₂eq) de las emisiones de GEI cuantificadas para el CG ArCoSa, mediante la implementación de las alternativas de reducción identificadas durante el año 2015.

Cuadro 20. Resumen de reducción de emisiones por Propuesta de Reducción de GEI del Centro de Generación ArCoSa.

Componente	Emisiones TonCO₂eq/año	Reducciones Ton CO₂eq/2018	Costos	Balance de emisiones Ton CO₂eq/2018
CP Arenal	1466,35	81,01	₪22.498.548,60	1427,64
CP Dengo	1149,34	12,66	₪1.931.941,00	1136,68
CP Sandillal	858,97	12,6	(₪1.656.000,00)	846,37
Compensaciones	0	1019,265	₪15.331.743,00	
TOTAL	3474,66	1125,535	₪38.106.232,60	2391,425

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El porcentaje de reducción de emisiones de GEI para el periodo 2014-2018 se compone en un 98% por alternativas de compensación y en un 6% por reducciones sobre fuente (figura 15).

De acuerdo con los planteamientos nacionales de huella de carbono, las instituciones deben procurar realizar el máximo de reducción de sus emisiones a nivel interno (INTECO 2009), lo cual señala la necesidad de aumentar las reducciones internas. Al

respecto es importante considerar que el análisis de potencial de reducción actual (sección 5.2.2) señaló que muchas de las alternativas de reducción posibles a aplicar ya se desarrollaron con anterioridad, principalmente en la fuente de consumo eléctrico (prioritaria según el análisis de categorías principales) lo que limita el margen de acción actual, a pesar de esto se reconoce la necesidad de precisar estudios de consumo eléctrico para identificar acciones más puntuales producto de estudios de consumo de cargas. Por otra parte, se reconoce que las alternativas en el área de consumo de combustible son débiles y en la generación de aguas residuales limitadas debido a poca viabilidad actual de desarrollar proyectos como cambios de flotilla vehicular o sistemas de tratamiento y estas son las fuentes de mayor aporte de emisiones dando como resultado que aproximadamente un 86 % de las emisiones no puede reducirse por alternativas a nivel interno.

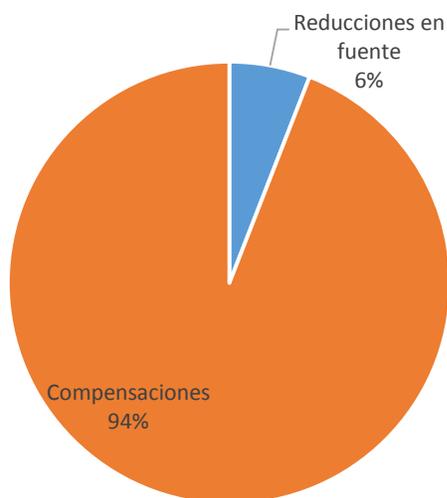


Figura 15. Distribución de acciones de reducción de emisiones de GEI en el CG ArCoSa periodo 2014-2018.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Se denota que los costos por acciones a nivel interno como modificación de sistemas de iluminación es más alta que los correspondientes a alternativas de reducción externa, sin embargo, se reconoce que el ahorro de electricidad se traduce en una reducción de los costos operativos lo que permitiría un mejor retorno de la inversión.

Es necesario realizar dichos análisis a la propuesta ya que en este estudio se encontraban fuera del alcance.

Las alternativas con menor aporte a la reducción corresponden a acciones desarrolladas a nivel interno y la instalación de biodigestores corresponde a la alternativa con mayor potencial de reducción de emisiones (843 Ton CO₂eq).

El potencial de reducción estimado se describe como un valor que puede aumentar, contrario a disminuir, ya que: las diferencias encontradas en la capacidad de reducción de emisiones de cada centro de producción (Cuadro 20) radica en la participación de cada centro en la identificación de alternativas de reducción, esta fue una tarea que se realizó en conjunto con el equipo de trabajo técnico de cada instancia, sin embargo no necesariamente implica la inexistencia de otras alternativas. Además es posible establecer metas de ejecución de actividades superiores a las establecidas por la propuesta.

Por otra parte, es importante recalcar que el potencial de reducción de emisiones requiere de la valoración de las emisiones capturadas por biomasa en bosques o terrenos ICE. En el caso de la CNFL, empresa de generación de electricidad con un esquema de desarrollo muy similar al ICE, pero de menor aporte de energía en el SEN, la existencia de áreas protegidas propiedad del CNFL (aproximadamente 2078 ha) alrededor de proyectos de generación y otros, tienen una capacidad de remoción de CO₂ anual de 21000 Ton CO₂, aproximadamente 10Ton CO₂/ ha año (CNFL, 2015), lo cual les permitió neutralizar su Huella de Carbono sin recurrir a compensaciones externas logrando un ahorro de más de 40% en los costos financieros del proceso (CNFL, 2015).

7 Conclusiones

- El Centro de Generación ArCoSa emitió para el año 2014 un total de 3 474 Toneladas de Carbono equivalente, de las cuales 1 466 Ton CO₂eq/año corresponden al CP Arenal, 1 149 Ton CO₂eq/año son emitidas por el CP Dengo y 858 Ton CO₂eq/año por el CP Sandillal.
- Las fuentes de emisión de tipo directo (alcance 1) representan el mayor aporte de emisiones de GEI del CG ArCoSa. De igual forma la generación de gas metano por la generación de aguas residuales representan la mayor fuente de emisión de GEI
- De las 10 fuentes de emisión evaluadas, 3 aportan el 95% del total de emisiones cuantificadas, lo que establece claramente la prioridad de desarrollo de acciones de reducción de las emisiones de GEI y control de la incertidumbre, sobre las fuentes de mayor aporte.
- La producción de energía no es una variable que se relacione con la generación de emisiones de GEI en los centros de producción de energía hidroeléctrica analizados. Por lo tanto, sería incorrecto utilizar esta variable como indicador para la generación de emisiones de GEI o bien como criterio para determinar el impacto ambiental en términos de calentamiento global de dichos centros de producción. Se aclara que si es relevante utilizar la producción de electricidad como indicador de eficiencia mas no como una variable en la generación de emisiones. Por otra parte, el área total utilizada para la producción de energía y el número de personas que operan en la planta influye de manera directamente proporcional la generación emisiones de GEI ya que se relacionan con la asignación de recursos y el respectivo consumo de insumos para la operación y mantenimiento.
- Las tecnologías limpias identificadas para la reducción de emisiones del CG ArCoSa corresponden a actividades que reducen las emisiones en fuente o

bien proyectos de compensación controlados por la organización, pero desarrollados fuera de los límites de la misma. La cantidad de alternativas de reducción interna identificadas fue dependiente del nivel de compromiso asumido por los colaboradores de cada centro de producción.

- Las emisiones del CG ArCoSa pueden reducirse en un 32% para el año 2018, lo que corresponde a una cantidad de 1 077 Ton CO₂eq, mediante la aplicación de alternativas de reducción identificadas, teniendo un mayor aporte de reducción las alternativas por compensación.
- El 86 % de las emisiones cuantificadas no son viables de reducir de mediante alternativas internas ya que corresponden a la fuente de generación de aguas residuales y no es rentable realizar cambios de tecnologías de tratamiento.
- No fue posible determinar el potencial de reducción de emisiones real, debido a que no se cuenta con los estudios suficientes para cuantificar las capturas de carbono realizadas por proyectos desarrollados a nivel interno y externo de la organización a pesar de que fueron identificados como alternativas de reducción. Por lo tanto, se requiere del desarrollo de estudios que permitan conocer estos valores para determinar el potencial real de reducción.

8 Recomendaciones

- La instrumentalización del proceso de Huella de Carbono desarrollado y aplicado en el CG ArCoSa para la cuantificación de emisiones de GEI y sus respectivas reducciones y compensaciones le permitiría al ICE replicar el proceso a otros Centros de Generación ampliando el alcance de sus acciones que satisfagan su compromiso país.
- Los problemas identificados con respecto a la calidad de los datos o insumos utilizados para el desarrollo del proyecto se solventarían con la oficialización de los procesos de recolección y uso de fuentes.
- El desarrollo de alternativas de reducción de emisiones de GEI requiere el perfeccionamiento de bases de datos e investigaciones que permitan conocer escenarios actuales de manera más detallada. Como por ejemplo desarrollo de estudios de distribución de consumo eléctrico y eficiencia de equipos. Por otra parte, el desarrollo de proyecto a nivel externo requiere un mayor control con el fin de mejorar la trazabilidad de los datos utilizados para la cuantificación de reducciones.
- Se debe evaluar la rentabilidad de las alternativas de reducción y compensación propuestas con el fin de conocer si existen retornos de la inversión y los periodos en que se pueden dar estos, generando un panorama más claro respecto a la viabilidad de la propuesta o bien el esquema de implementación.
- Es importante determinar los beneficios (además del cumplimiento con compromisos país) relacionados con la implementación de proyectos de carbono neutralidad u obtención de certificaciones de Huella de Carbono con el fin de justificar el desarrollo de las mejores propuestas.

- Se debe mejorar la identificación de alternativas de reducción de emisiones de GEI a nivel interno con el fin de cumplir con coherencia los principios de aplicación de procesos de carbono neutralidad en el país, los cuales indican que se deben realizar el máximo de las reducciones en fuente antes de utilizar proyectos de compensación.

9 Referencias Bibliográficas

- Acción Clima-GIZ. 2014. Guía metodológica para el cálculo del inventario de gases de efecto invernadero en el sector de generación de electricidad. Supervisado, S Musmmani; GA Jiménez. San José, CR. 52p.
- Amir, J; Garcés, L. 2007. Tecnologías ambientalmente sostenibles (en línea). Consultado 20 abr, 2014. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/513/1/pl_v1n2_78-86_tecnolog%C3%ADas.pdf
- Andrade, H; Brook, R; Ibrahim, M. 2007. Growth production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry downlands of Costa Rica. *Plant Soil* 308: 11-22.
- Asamblea legislativa. 2002. Ley 8219: Aprobación del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. San José, CR. s.p.
- Asamblea legislativa. 1994. Ley 7414: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. San José, CR. s.p.
- Arias, O. 2005. Paz con la Naturaleza. San José, CR. s.e. 16p.
- Caballero, M; Lozano, S; Ortega, B. 2007. Efecto Invernadero, Calentamiento global y Cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Publicaciones digitales UNAM*. Vol 8 (10): 1067-6079
- Capacitación Huella de Carbono (2015, ICE, Cr). 2015. Comunicación cálculo de incertidumbre. INTECO. San José, Cr.
- Cárdenas, E; Bustamante, AM; Espitia, JD; Páez, A. 2012. Productividad en materia seca y captura de carbono en un sistema silvopastoral y un sistema tradicional en cinco fincas ganaderas de piedemonte en el departamento de Casanare. *Rev. Med. Vet.* 24: 51-57

CATIE. 2006. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. Cartago, CR. 204p.

CENPE (Centro Nacional de Planificación Eléctrica, CR). 2014. Inventario de gases de efecto invernadero del sistema eléctrico nacional año 2013. San José, CR. 45p.

CENPE (Centro Nacional de Planificación Eléctrica, CR). 2012. Plan de expansión de la generación eléctrica periodo 2012-2024. San José, CR. ICE. 114p.

CENPE (Centro Nacional de Planificación Eléctrica, CR). 2011. Costa Rica: Proyecciones y demanda eléctrica 2011-2033. San José, CR. ICE. 27p.

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, DE). 2014. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 50p.

CNFL (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, Cr). 2015. CNFL enfocada en eficiencia y solvencia. San José, CR. 28p.

Daura, J. 2007. Mejora de la eficiencia energética en industrias y edificios (en línea). Consultado el 20 nov. 2015. Disponible en: https://www.icaei.es/contenidos/publicaciones/anales_get.php?id=1443

DDC (Dirección de Cambio Climático, CR). 2014. Programa País (en línea). Consultado 15 abr. 2014. Disponible en: <http://cambioclimaticocr.com/2012-05-22-19-47-24/empresas-y-organizaciones-hacia-la-carbono-neutralidad-2021>

Demartyn, M; Bastien, J. 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements. Energy Policy. 39: 4197-4206.

Dobles, R. 2011. Consecuencias de la contaminación del aire y de la atmósfera del sector energético y tendencias de las emisiones contaminantes. San José, CR. s.e. 100p.

Duque, G. 2011. Impacto ambiental de los refrigerantes ecológicos. El cuaderno Escuela de Ciencia Estratégicas 2 (4): 213-222.

EPEC. Sf. Tecnología hidroeléctrica. Córdoba, CH. s.e. 26p.

Fearnside, P. 2014. Análisis de los principales proyectos hidro energéticos en la región amazónica. In: C. Gamboa, E. Gudynas (eds.). Secretaria General del Panel Internacional de Ambiente y Energía: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales. Lima, Pe. 38p.

Fearnside, P. 2005. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá Una Dam. Mitig Adapt Strat Glob Change. 10: 675-691.

Fearnside, P. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. Water Air Soil Pollut 133: 69-96.

Fernandez, I; Robles, A. sf. Centrales de Generación de energía eléctrica. Universidad de Cantabria. Cantabria, ES. 82p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2014. Manual del SIG: UEN Producción de electricidad. San José, CR 97p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). sf. Anexo 1: Términos de Referencia Técnicos para: Estudio de factibilidad Modernización Arenal. San José, CR. s.e. 96p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 1995. Ubicación de equipos auxiliares de Planta Arenal. San José, CR. 62p.

Induambiente. 2006. La refrigeración verde (Climatización y filtración) (en línea). Consultado el 15 nov. 2015. Disponible en: <http://www.induambiente.com/productos->

equipos-tecnolog-as-y-servicios-para-p/la-contaminaci-n-por-dentro-climatizaci-n-y-filtraci-n.html

INE (Instituto Nacional de Ecología, MX). 2005. Guía para la elaboración y uso de inventario de emisiones. México DF, Mx. Semarnat. 508p.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2015. Factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero. 5 ed. San José, CR. 9p.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2009. Inventario nacional de emisión de gases con efecto invernadero y de absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. San José, CR. 78p.

INECC. 2015. Mantenimiento preventivo (en línea). Consultado el 30 nov. 2015. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/624/mtto.pdf>

INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2009. Norma Nacional para la gestión de huella de carbono. San José, Cr. 29p.

INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2006(1). Gases de Efecto Invernadero-Parte 1: especificación con orientación, a nivel de organizaciones, para la cuantificación e informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. San José, Cr. 34p.

INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2006(2). Gases de Efecto Invernadero-Parte 3: especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre GEI. San José, Cr. 34p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, CH). 2007. RT.2.5 Forzamiento radiativo neto mundial, potenciales de calentamiento mundial y pautas de forzamiento (en línea). Consultado el 10 abr. 2014. Disponible en: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2-5.html

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, CH). 2006 (1). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto

invernadero: Incertidumbres. Vol 1. Eds. S Eggleston; L Buendia; T Ngara; K Tanabe. Japón. IGES.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, CH). 2006 (2). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Opción metodológica e identificación de categorías principales. Vol 1. Eds. S Eggleston; L Buendia; T Ngara; K Tanabe. Japón. IGES.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, CH). 2006 (3). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Orientación general y generación de informes: Energía. Vol 2. Eds. S Eggleston; L Buendia; T Ngara; K Tanabe. Japón. IGES.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, CH). 2006 (4). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Orientación general y generación de informes Procesos industriales y uso de productos. Vol 3. Eds. S Eggleston; L Buendia; T Ngara; K Tanabe. Japón. IGES.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, CH). 2006 (5). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Orientación general y generación de informes Desechos. Vol 5. Eds. S Eggleston; L Buendia; T Ngara; K Tanabe. Japón. IGES.

Lima, I; Bambace, L. 2007. Methane Emissions from Large Dams as Renewable Energy Resources: A Developing Nation Perspective. Mitig Adapt Strat Glob Change (2008) 13:193–206

MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, CR). 2014. Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 "Alberto Cañas Escalante". San José, CR. Gobierno de Costa Rica. 566p.

MEIC (Ministerio de Economía, Industria y Comercio, CR). 1997. Reglamento para surtidores de combustibles líquidos, calibración y verificación Decreto 26425-MEIC. San José, CR. 15p.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2015. Una acción climática para un desarrollo bajo en emisiones y resiliente. San José, CR. 19p.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2012. Acuerdo 36-2012– MINAET: Oficializar el programa país carbono neutralidad (La Gaceta 118) San José, CR. Imprenta Nacional. s.p.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2011. VI Plan Nacional de Energía 2012-2030. San José, CR. 54p.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2009. Estrategia Nacional de Cambio Climático. 1 ed. San José, CR. Editorial Calderón y Alvarado. 107p.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). S.f. Guía Práctica para la reducción de emisiones en el sector público. MINAE. San José, CR. 49p.

Parekh, P. 2011. Avances en el Campo de las Emisiones de Embalses: Un Informe sobre la Investigación y las Directrices Recientes. International Rivers. 15p.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, KE). 2000. Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Nairobi, KE. 41p.

Poder Ejecutivo. 2006. Decreto 33487-MP Declaratoria de interés público la Iniciativa “Paz con la Naturaleza”. La Gaceta (250). San José, CR. s.p.

Ramírez A, 2009. Diagnóstico Biofísico de las Cuencas de Intervención del Centro de Generación ArCoSa. San José, CR. ICE. s.p.

Rojas, J; Ibrahim, M; Andrade H. 2009. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Vol 10(2): 214-223.

Rosa, L; Aurelio, M; Matveitko, B; Oliviera, E; Sikar, E. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions. Climatic Change 66: 9-21.

Ruiz, P. 2009. Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inverglobal INC. Tesis Lic. Bolivia. Universidad Pontificia Bolivariana. 59p.

Treatise. 2005. La conducción eficiente (en línea). Consultado el 19 nov. 2015. Disponible

en:http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10297_TREATISE_ConduccionEficiente_A2005_A_f3817bad.pdf

UNESCO/IHA (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, FR; International Hidropower Asociation, GB). 2012. Workshop framework and summary of discussion: main conclusions and recommendations. Ed. Joel A. Goldenfum. Londres.17p

UNESCO/IHA (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, FR; International Hidropower Asociation, GB). 2010. GHG measurements guidelines for freshwater reservoir. Ed. J.A. Goldefum. Londres, GB. 131p

UNESCO/IHA (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, FR; International Hidropower Asociation, GB). 2009. Measurement Specification Guidance for Evaluating the GHG Status of Man-made Freshwater Reservoirs. Ed. Joel A. Goldenfum. Londres. 57p.

Uruguay eficiente, Ur. s.f. Buenas prácticas para el ahorro de combustible (en línea). Consultado el 20 nov. 2015. Disponible en: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/archivo/publicaciones/ManualBuenasPracticasCombustible.pdf>

Varela, I. 2009. Sistema nacional de incentivos a la producción más limpia en Costa Rica. Tecnología en Marcha. 22: 51-62.

WBDCS (World Business Council for Sustainable Development, CH); WRI (World Resources Institute, CH). 2001. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de contabilidad y reporte. 132p.

Weisser, D. 2007. A guide to Life cycle Greenhouse Gas (GHG) emissions from electric supply (en línea). Consultado el, 30 mar, 2014. Disponible en: 44 [http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/GHG_manuscript_preprint_version DanielWeisser.pdf](http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/GHG_manuscript_preprint_version_DanielWeisser.pdf).

World Bank. 2010. Greenhouse gas emissions related to freshwater reservoirs Guidelines on GHG Measurement Preliminary GHG Assessment Tool Proposal for CDM Methodology Revision. 166p

10 Anexos

Anexo 1. Herramientas de recolección de datos: Caracterización de fuentes de emisión.

Caracterización de fuentes de emisión de GEI						
Elaborado por:	Nancy Madrigal Morales		Fecha de elaboración:	01-dic-14	Versión:	1
Centro de Producción			Responsable de aplicación			
Fecha de aplicación:			Responsable de revisión:			
Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Fuentes de emisión de GEI	Evidencia posible a utilizar (DA)	Tipo de Fuentes	Categoría	Gases de Efecto Invernadero
FUENTES DIRECTAS						
FUENTES INDIRECTAS						

Anexo 2. Herramientas de recolección de datos: Recolección de datos de Actividad.

Consumo de combustible.

Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI y Recolección de DA														
Centro de Producción:									Responsable de aplicación:					
Fecha de aplicación:									Responsable de revisión:					
Fuente de información:														
Consumo de combustible (L)														
Placa	Combustible	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	TOTAL
Notas														

Consumo de gases (acetileno, CO₂)

Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI y Recolección de DA							
Centro de Producción:					Responsable de aplicación:		
Fecha de aplicación:					Responsable de revisión:		
Fuente de información:							
Equipo	Cantidad	Capacidad	Uds	Ultima recarga		Evidencia	Cantidad total(Kg)

Consumo de sustancias refrigerantes

Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI y Recolección de DA								
Centro de Producción:				Responsable de aplicación:				
Fecha de aplicación:				Responsable de revisión:				
Fuente de información:								
Ubicación	Identificación	Cap BTU	Tipo	Refrigerante	Factor de recarga	Uds	Cantidad total (kg)	Emisiones
Equipos estacionarios								
Equipos domésticos								
Equipos móviles								

Consumo de aceites y lubricantes

Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI y Recolección de DA					
Centro de Producción:				Responsable de aplicación:	
Fecha de aplicación:				Responsable de revisión:	
Fuente de información:					
Sustancia	Cantidad	Unidades	Fecha de compra	Evidencia	Cantidad Total de sustancia L
Lubricantes					
					0
TOTAL					0

Generación de Aguas residuales

Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI y Recolección de DA						
Centro de Producción:				Responsable de aplicación:		
Fecha de aplicación:				Responsable de revisión:		
Fuente de información:						
Solicitud	Periodo de solicitud	Total de días de ingreso	Número de personas de ingreso	Total de ingreso al año	Total de empleados	TOTAL

Consumo de energía eléctrica por servicio propio y servicio al cliente (generación de emisiones por consumo de energía eléctrica)

Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI y Recolección de DA														
Centro de Producción:									Responsable de aplicación:					
Fecha de aplicación:									Responsable de revisión:					
Fuente de información:														
Medidor	Ubicación	Consumo registrado KWh												
		E	F	M	A	My	J	JI	Ag	S	O	N	D	TOTAL
Total														

Anexo 3. Herramientas de recolección de datos: Calculo de emisiones de GEI.

Cálculo de emisiones																
Elaborado por:		Nancy Madrigal Morales			Fecha de elaboración:			01-dic-14		Versión:		1				
Centro de Producción								Responsable de aplicación								
Fecha de aplicación:								Responsable de revisión:								
Fuente de emisión	Da	UD	Factor de emisión					Ton por GEI				Ton CO ₂ eq (*PCG)				Total (TonC O ₂ eq)
			CO ₂	CH ₄	NO ₂	HF C	U D	CO ₂	CH ₄	N O ₂	H F C	CO ₂	C H ₄	N O ₂	H F C	
TOTAL																

Anexo 4. Memoria de cálculo del Inventario de Emisiones de GEI del CG ArCoSa.

De acuerdo con la naturaleza de las fuentes de emisión identificadas, el método más factible para la cuantificación de las emisiones de GEI fue mediante la aplicación de mediciones indirectas. A continuación, se determinan aspectos relevantes del cálculo.

a. Selección de datos de actividad

La existencia del Sistema Integrado de Gestión y el establecimiento de criterios de selección facilitó el proceso de recolección de los datos de actividad. Es importante mencionar que se priorizó que la información recolectada fuera útil para realizar posteriores verificaciones del inventario, lo cual implica que los datos cuenten con evidencias oficiales para la norma ISO14064-3 y que la comparación de los datos presentados contra las evidencias presente menos de un 5% de error (INTECO, 2016(1)).

En el cuadro 1 se caracterizan los datos de actividad utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI de cada fuente identificada. En su mayoría los datos de actividad corresponden a cantidades de sustancia registrados en facturas u órdenes de compra, y no al consumo directo de la sustancia. Esto con el fin de facilitar el procedimiento de recolección de datos utilizando los insumos de documentación ya existentes y evitar dobles contabilidades. Solamente las fuentes de generación de residuos y consumo de electricidad corresponden a mediciones directas del dato de actividad.

Por otra parte, en general los datos de actividad para el periodo en estudio son datos de consumo puntuales de fuentes secundarias, lo que impide la obtención de información estadística de los datos. En la totalidad de los casos fue posible obtener datos para los doce meses del año mejorando la representatividad del dato por el periodo de cuantificación establecido. Solamente en el caso del CP Sandillal no fue posible obtener los datos de número de ingresos anuales (visitas), por lo tanto, se asumió que se recibe el

mismo número de visitas que en el Centro de Producción Miguel Dengo considerando las características de ambos centros de producción.

Otro aspecto importante a mencionar es la existencia de varias fuentes de información para un mismo dato, lo que permite establecer controles de calidad y pruebas para errores potenciales, como, por ejemplo; control cruzado, validez de caracteres, omisión de datos y coherencia de datos.

El establecimiento de estos datos como datos de actividad se realizó asumiendo que; se consume o libera la totalidad de la cantidad del componente generador de GEI registrada a través de la compra durante el periodo de tiempo (año) en el que se realizó la compra, con el fin de evitar dobles contabilidades.

Los datos de actividad se registraron en las unidades indicadas por el documento de evidencia y posteriormente se cambiaron a unidades correspondientes al factor de emisión a utilizar.

Con respecto a la incertidumbre de los datos de actividad, se establecieron como fuentes de incertidumbre datos provenientes de la medición de incertidumbre de los instrumentos de medición, cálculos y factores de emisión nacionales o en los casos aplicables los valores por defecto aportados por el IPCC para el cálculo de emisiones por metodologías específicas.

Cuadro 1. Datos de actividad para el inventario de GEI en el CG ArCoSa 2014.

Fuente	Evidencias	Calidad	Incertidumbre
Consumo de combustible (vehículos)	Informes de detalle de gastos por objeto de gasto (#factura)	-Corresponde a un dato puntual de fuente secundaria.	0,50%
	Control operacional de consumo de combustible	-Incertidumbre: Error máximo de calibración estipulado por el Reglamento para surtidores de combustibles líquidos, calibración y verificación Decreto 26425-MEIC (MEIC, 1997).	
Consumo de combustible (equipo mayor y equipo menor)	Facturas de consumo de combustible	-Corresponde a un dato puntual de fuente secundaria.	No disponible
	Autorizaciones de compra		
	Requisiciones y pre requisiciones		
Consumo de gases (CO₂ Acetileno)	Autorizaciones de compra	-Corresponde a un dato puntual de fuente secundaria.	No disponible
	Inventario de extintores**		No disponible
Consumo de Gases refrigerantes	Reportes de mantenimiento **	-Corresponde a un dato puntual de fuente secundaria.	No disponible
	Especificaciones técnicas del producto (Fotografías)		
Consumo de aceites y lubricantes	Autorizaciones de compra	-Corresponde a un dato puntual de fuente indirecta.	5%
	Requisiciones	-Referencia de incertidumbres por defecto de la IPCC. "Uso de lubricantes Alcance tipo Nivel 1"(Vol 3, Cap 5) (IPCC, 2006(4))	
Generación de aguas residuales	Solicitudes de ingreso	-Las fuentes de datos están incompletas.	5%
	Planillas	-Referencia de incertidumbres por defecto de la IPCC. Aguas residuales domésticas (Vol 5 , Cap 6) (IPCC, 2006(5)).	

Cuadro 1. Datos de actividad para el inventario de GEI en el CG ArCoSa 2014. (parte 2).

Fuente	Evidencias	Calidad	Incertidumbre
Consumo eléctrico (servicio propio)	Reportes consumo servicio propio del SIGEST <hr/> Reportes de calibración de medidores**	-Corresponde a un dato puntual de fuente secundaria <hr/> -La incertidumbre corresponde a la registrada en los procesos de calibración del equipo de medición	0,01%
Consumo eléctrico (servicio al cliente)	Reportes de consumo eléctrico de servicio al cliente	-Corresponde a un dato puntual de fuente secundaria. <hr/> -La incertidumbre corresponde a la registrada en los procesos de calibración del equipo de medición	0,20%

Fuente: Elaboración propia, 2016.

b. Selección de factores de emisión:

En el cuadro 2 se muestran los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI de las fuentes identificadas. En la mayoría de los casos se contó con factores de emisión nacionales actualizados. En los casos donde no se contaba con factores de emisión nacionales, se procedió a utilizar las metodologías de cálculo de emisiones planteadas por la IPCC empleando los factores por defecto.

Con respecto a los datos de incertidumbre del factor de emisión se menciona que el Instituto Meteorológico Nacional no cuenta con estimaciones de la incertidumbre de los factores de emisión utilizados para los factores del año 2014 (IMN, 2015), por lo tanto se procedió a utilizar las incertidumbres por defecto del IPCC para los factores de emisión en la mayoría de los casos.

Cuadro 2. Factores de emisión utilizados para el inventario de GEI en el CG ArCoSa 2014.

Fuente		Factor de emisión				Referencia	Calidad	Incertidumbre
		GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
Consumo de combustibles vehículos/ combustibles maquinaria mayor y menor (kg gas/L combustible)	de	Generación electricidad/Diesel	2,69	0,0001089	0,00002178	IMN. 2015.	Referencia de	Diésel=2%
	de	Transporte terrestre/gasolina /sin catalizador	2,26	1,077	0,0001045	Factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero.	de por defecto de la IPCC Volumen 2. Sector Energía (IPCC, 2016 (3)).	
		Transporte terrestre/gasolina /con catalizador	2,26	0,0008162	0,0002612			
		Transporte terrestre/diesel /sin catalizador	2,69	0,0001416	0,0001416			
		Manufactura y construcción/Gasolina	2,26	0,00009795	0,00001959			Gasolina= 50%
		Manufactura y construcción/Diésel	2,69	0,0001089	0,00002178			
Consumo de gases (CO₂, acetileno) kg gas/kg sustancia		Extintores	1	0	0	Cálculo propio		No aplica
		Acetileno	3,0	0	0	Cálculo propio		No aplica

Cuadro 2. Factores de emisión utilizados para el inventario de GEI en el CG ArCoSa 2014. (Parte 2).

Fuente	Factor de emisión				Referencia	Calidad	Incertidumbre
	GEI	CO ₂	CH ₄	HFC			
Consumo de gases refrigerantes	Domésticos	0	0	Dependiente	.“Método Nivel 2a: Enfoque por factor de emisión” de la Sección: Refrigeración y Aire acondicionado (Vol 3, Cap 7).	Referencia de	4%
	Móviles	0	0	del Gas		incertidumbres por defecto de la IPCC.	5%
	Estacionarios	0	0			“Método Nivel 2a: Enfoque por factor de emisión” de la Sección: Refrigeración y Aire acondicionado (Vol 3, Cap 7) (IPCC, 2006 (4)).	3,50%
Consumo de aceites y lubricantes kg/l	Acetites y lubricantes	0,501	0	0	IMN. 2015. Factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero.	Referencia de incertidumbres por defecto de la IPCC. “Uso de lubricantes Alcance tipo Nivel 1”(Vol 3, Cap 5) (IPCC, 2006(4)).	50%

Cuadro 2. Factores de emisión utilizados para el inventario de GEI en el CG ArCoSa 2014. (parte 3).

Fuente	Factor de emisión				Referencia	Calidad	Incertidumbre
	GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O			
Generación de aguas residuales kg/personas año	Tanques sépticos	0	4,38	0	IMN. 2015. Factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero.	Referencia de incertidumbres por defecto de la IPCC Volumen 5. Residuos. Capacidad máxima de producción de metano(IPCC, 2006(5))	30%
Consumo eléctrico (servicio propio) Kg/Kwh		0,117	0	0	IMN 2015. Factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero.	El factor es de diseño propio para el país y no se posee cálculo de su incertidumbre	No disponible
Consumo eléctrico (servicio al cliente) Kg/Kwh							

c. Otras mediciones indirectas:

Las fuentes de emisión por consumo de gases y consumo de gases refrigerantes no cuentan como factores de emisión nacionales, por lo tanto, se procedió a utilizar otros métodos de cuantificación de las emisiones propuestos por el IPCC. A continuación, se presentan los cálculos de emisiones de estas fuentes.

- Emisiones por consumo de gases:

-Consumo de CO₂ por extintores:

Para el cálculo de emisiones correspondientes al consumo de CO₂ por extintores se asume que el contenido total de los extintores existentes corresponde a gas CO₂ al 100%. Además, se asume que el contenido es liberado por uso o bien por recarga durante el periodo de contabilidad (1 año).

Por lo tanto:

$$\text{Capacidad extintor} * \text{Cantidad extintores} = \text{Emisiones de CO}_2$$

Dónde:

CP Arenal:

$$333,5\text{kgCO}_2 = (33*7\text{kg}) + (11*4,5\text{kg}) + (2*22\text{kg}) + (2*10\text{kg}) + (2*4,5\text{kg})$$

CP Dengo:

$$274,5\text{kgCO}_2 = ((23*20\text{lb}) + (5*20\text{lb}) + (1*50\text{lb})) * 0,45\text{kg/lb}$$

CP Sandillal:

$$137,25\text{kgCO}_2 = ((2*20\text{lb}) + (3*20\text{lb}) + (7*15\text{lb}) + (10*10)) * 0,45\text{kg/lb}$$

-Consumo de acetileno:

En el caso de acetileno se asume que la capacidad del recipiente corresponde a acetileno (C₂H₂) al 100%. Al ser utilizado para soldadura se utiliza la reacción de combustión (ver adelante) para el cálculo de las emisiones de CO₂ provenientes de esta operación.

Reacción de combustión de acetileno:



Se asume una eficiencia de la reacción del 90% para la conversión de C_2H_2 . La ecuación resultante es la siguiente:

$$CO_2Kg = \left(\frac{Kg \text{ reactivo} * 1000}{MM \text{ reactivo}} * 0,9 * \text{Relación estequimétrica} * MMCO_2 \right) \div 1000$$

Dónde:

Kg Reactivo= Consumo de C_2H_2 durante el periodo cuantificado.

MM reactivo (C_2H_2)=24,6g/mol

MM CO_2 =44,01g/mol

Relación estequiometria= 4/2

CP Arenal:

$$0,024kgCO_2 = \left(\frac{8Kg * 1000}{26,4} * 0,9 * \frac{4}{2} * 44,01 \right) / 1000$$

CP Dengo:

$$0,023kgCO_2 = \left(\frac{7,5Kg * 1000}{26,4} * 0,9 * \frac{4}{2} * 44,01 \right) / 1000$$

-Consumo de gases refrigerantes:

Para el cálculo de las emisiones de refrigerante emitido por el uso de equipos de enfriamiento se aplicó la metodología del IPCC (2006) "Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) (Vol. 3, Cap. 7) Sección_ Refrigeración y Aire acondicionado". Específicamente el "Método Nivel 2^a: Enfoque por factor de emisión" (IPCC, 2006(3)).

Se consideraron como emisiones correspondientes a la institución solamente las Emisiones generadas durante la vida útil del equipo (exceptuando la existencia de instalaciones o desinstalaciones de equipo en el año evaluado) y se aplica la Ecuación 7.13 del método de la IPCC (adelante) para el cálculo de las emisiones de gases refrigerantes:

$$Emisiones\ durante\ la\ vida\ útil = B * x / 100$$

Dónde:

B=Carga de gas refrigerante durante el año de operación.

x=Factor de emisión durante la operación. Los valores de referencia son suministrados por el IPCC (0,5).

d. Cálculo de las emisiones totales.

Las emisiones totales son el resultado de la sumatoria de las emisiones de cada fuente identificada. En los siguientes cuadros se muestran los cálculos de emisiones por fuente respectivos a cada CP.

De acuerdo con la fórmula de cálculo de las emisiones de GEI por método de factores de emisión, las emisiones de cada fuente de emisión son resultantes de:

$$Emisiones(Ton\ CO2eq) = DA * fe * PCG$$

Dónde:

DA es igual al Dato de actividad recolectado.

Fe es igual al factor de emisión por defecto presentado en el cuadro 2.

PCG es igual al potencial de calentamiento global determinado para cada Gas, presentado en el cuadro 3.

El resultado final de las emisiones de carbono equivalente emitidas por cada fuente de emisión se muestra en la columna de total (final) y es el resultado de

la multiplicación de la columna 2 (dato de actividad) por la columna 3 (factores de emisión) convirtiendo las unidades a toneladas (columna 4) y finalmente se multiplica la cantidad por los potenciales de calentamiento global (columna 5), que se presentan en los cuadros de cálculo de las emisiones 4,5 y 6.

Los otros cálculos aplicados a fuentes específicas se muestran de manera independiente.

Cuadro 3. Potenciales de Calentamiento Global para gases de efecto invernadero.

Gas	VALOR HORIZONTE 100 AÑOS
CO₂	1
CH₄	21
N₂O	310
HFC 134^a	1300
HFC 152^a	140
R402a	2447
R402b	2150
R404a	3260
R404B	3260
R407c	1526
R410a	1725
R507	3300
R508B	10350
ISCEON MO49	2230
SF6	23900
R – 22	1500
R-12	8100

Fuente: IPCC. 2007.

Cuadro 4. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Arenal.

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de combustible (Transporte Diesel sin catalizador)	8805,63 L	2,69	0,0001	0,000	-	23,69	0,00	0,00	-	23,69	0,03	0,39	-	24,100
				1										
Consumo de combustible (Transporte gasolina con catalizador)	201,12 L	2,26	0,0008	0,000	-	0,45	0,00	0,00	-	0,45	0,00	0,02	-	0,474
				3										
Consumo de combustible (Manufactura/gasolina sin catalizador)	628,00 L	2,26	1E-04	2E-05	-	1,42	0,00	0,00	-	1,42	0,00	0,00	-	1,424
Consumo de combustible (Transporte/gasolina sin catalizador)	35,00 L	2,26	1,077	0,000	-	0,08	0,04	0,00	-	0,08	0,79	0,00	-	0,872
				1										
Consumo de combustible (Transporte Diesel sin catalizador)	6487,24 L	2,69	0,0001	0,000	-	17,45	0,00	0,00	-	17,45	0,02	0,28	-	17,755
				1										

Cuadro 4. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Arenal (parte 2).

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de gases (C ₂ H ₂)*	8kg/año	-	-	-	-	0,024	-	-	-	0,024	-	-	-	0,024
Consumo de gases (CO ₂)*	333,5kg/año o	-	-	-	-	0,334	-	-	-	0,334	-	-	-	0,33
Consumo de gases refrigerantes (R410a)*	6,52kg/año	-	-	-	-	-	-	-	0,006 5	-	-	-	11,24 7	11,25
Consumo de gases refrigerantes (R134a)*	0,27kg/año	-	-	-	-	-	-	-	0,000 3	-	-	-	0,355 9	0,36
Consumo de gases refrigerantes (R22)*	0,13kg/año	-	-	-	-	-	-	-	0,000 1	-	-	-	0,195	0,20
Consumo de gases refrigerantes (R12)*	0,00kg/año	-	-	-	-	-	-	-	2E-07	-	-	-	0,001 3	0,00

Cuadro 4. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Arenal (parte 3).

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de sustancias químicas (Aceites y lubricantes)	62,21L/año	0,51 01	-	-	-	0,032	-	-	-	0,032	-	-	-	0,032
Generación de aguas residuales	14093 Personas/ año	4,38	-	-	-	-	61,727 34	-	-	-	1296,3	-	-	1296,274
Consumo de energía eléctrica (servicio propio)	425810 kw/año	0,11 7	-	-	-	49,82	-	-	-	49,82	-	-	-	49,820
Consumo de energía eléctrica (servicio al cliente)	542240 kw/año	0,11 7	-	-	-	63,44	-	-	-	63,442	-	-	-	63,442
TOTAL										200,19	1298	1,385	23,40	1466,35

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 5. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Dengo.

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de combustible por vehículos (Diesel sin catalizador)	15543,5 l	2,69	0,0001 4	0,000 1	-	41,81	0,00	0,00	-	41,81	0,05	0,68	-	42,541
Consumo de combustible por vehículos (gasolina con catalizador)	145,19 l	2,26	0,0008 2	0,000 3	-	0,33	0,00	0,00	-	0,33	0,00	0,01	-	0,342
Consumo de combustible por maquinaria (Manufactura y construcción/gasolina)	48,00 l	2,26	9,8E-05	2E-05	-	0,11	0,00	0,00	-	0,11	0,00	0,00	-	0,109
Consumo de combustible por maquinaria (Diesel sin catalizador)	2409 l	2,69	0,0001 4	0,000 1	-	6,48	0,00	0,00	-	6,48	0,01	0,11	-	6,593
Consumo de combustible (Generación de electricidad/diesel)	522,00 l	2,69	0,0001 1	2E-05	-	1,40	0,00	0,00	-	1,40	0,00	0,00	-	1,409

Cuadro 5. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Dengo (parte 2).

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de gases (C ₂ H ₂)*	7,5kg	-	-	-	-	0,023	-	-	-	0,023	-	-	-	0,023
Consumo de gases (CO ₂)*	274,5kg	-	-	-	-	0,275	-	-	-	0,275	-	-	-	0,27
Consumo de gases refrigerantes (R410a)*	0,29kg	-	-	-	-	-	-	-	0,000 3	-	-	-	0,508 5	0,51
Consumo de gases refrigerantes (R134a)*	0,44kg	-	-	-	-	-	-	-	0,000 4	-	-	-	0,567 8	0,57
Consumo de gases refrigerantes (R22)*	0,58kg	-	-	-	-	-	-	-	0,000 6	-	-	-	0,867	0,87
Consumo de gases refrigerantes (R12)*	0,00kg	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0	0,000

Cuadro 5. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Dengo (parte 3).

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de sustancias químicas (Aceites y lubricantes)	497,3 l/año	0,51 01	-	-	-	0,254	-	-	-	0,254	-	-	-	0,254
Generación de aguas residuales	10284 personas/año	4,38	-	-	-	45,04	-	-	-	945,9	-	-	-	945,92
Consumo de energía eléctrica (servicio propio)	1170290 kw/año	0,11 7	-	-	-	136,9 2	-	-	-	136,92	-	-	-	136,924
Consumo de energía eléctrica (servicio al cliente)	111210 Kw/año	0,11 7	-	-	-	13,01	-	-	-	13,012	-	-	-	13,012
TOTAL										251,05	946	1,607	3,886	1149,35

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 6. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Sandillal.

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de combustible por vehículos (Diesel sin catalizador)	7229L	2,69	0,0001	0,000	-	19,45	0,00	0,00	-	19,45	0,02	0,32	-	19,785
				1										
Consumo de combustible por vehículos (gasolina con catalizador)	3748L	2,26	0,0008	0,000	-	8,47	0,00	0,00	-	8,47	0,06	0,30	-	8,838
				3										
Consumo de combustible (Transporte/gasolina con catalizador)	84,32L	2,26	0,0008	0,000	-	0,19	0,00	0,00	-	0,19	0,00	0,01	-	0,199
				3										
(Transporte/gasolina sin catalizador)	18,90L	2,26	1,077	0,000	-	0,04	0,02	0,00	-	0,04	0,43	0,00		0,471
				1										
Consumo de combustible por maquinaria (Diesel sin catalizador)	1017,29l	2,69	0,0001	0,000	-	2,74	0,00	0,00	-	2,74	0,00	0,04	-	2,784
				1										

Cuadro 6. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Sandillal (parte 2).

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de combustible por maquinaria (Generación de electricidad/diesel)	616,00	2,69	0,0001	2E-05	-	1,66	0,00	0,00	-	1,66	0,00	0,00	-	1,663
Consumo de gases (CO ₂)*	137,25	-	-	-	-	0,137	-	-	-	0,137	-	-	-	0,14
Consumo de gases refrigerantes (R134a)*	0,02	-	-	-	-	-	-	-	2E-05	-	-	-	0,0299	0,03
Consumo de gases refrigerantes (R410a)*	3,62	-	-	-	-	-	-	-	0,0036	-	-	-	6,2445	6,24
Consumo de sustancias químicas (Aceites y lubricantes)	117,14 kg	0,5101	-	-	-	0,060	-	-	-	0,060	-	-	-	0,060
Generación de aguas residuales	8284 personas/año	4,38	-	-	-	36,283	-	-	-	761,96	-	-	-	761,962

Cuadro 6. Cálculo de emisiones de GEI para el CP Sandillal (parte 3).

Fuente de emisión	Dato de Actividad (2)	Factor de emisión (3)				Ton por GEI (4)				Ton CO ₂ eq (*PCG) (5)				Total (TonCO ₂ eq)
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	CO ₂	CH ₄	NO ₂	HFC	
Consumo de energía eléctrica (servicio propio)	323080kw año	0,11 7	-	-	-	37,80	-	-	-	37,8	-	-	-	37,800
Consumo de energía eléctrica (servicio al cliente)	162511 kw año	0,11 7	-	-	-	19,01	-	-	-	19,014	-	-	-	19,014
TOTAL										122,24	763	1,354	12,54	858,99

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Anexo 5. Memoria de cálculo de la Incertidumbre.

El método para la determinación cuantitativa de la incertidumbre consiste en utilizar estimaciones disponibles producto de datos medidos, información publicada, resultados de modelos y dictamen de expertos. Los datos de incertidumbre se presentan con un intervalo de confianza del 95%, definido por los percentiles 2,5 y 97,5, de acuerdo con las recomendaciones de buenas prácticas para el cálculo de la incertidumbre brindadas por el IPCC (IPCC. 2006(1)).

La incertidumbre agregada de cada fuente de emisión de GEI es un producto de la raíz de la suma de los cuadrados de la incertidumbre del factor de emisión por la incertidumbre del dato de actividad (datos presentados en cuadros 1 y 2 del Anexo 4). En los casos no se posee información se asigna un valor igual a 0 de acuerdo con las recomendaciones dadas por entes verificadores nacionales.

$$\text{Incertidumbre agregada} = \sqrt{(EFu^2 + ADu^2)}$$

EFu es la incertidumbre del factor de emisión

ADu es la incertidumbre de los datos de la actividad

Figura 1. Ecuación para el cálculo de la incertidumbre por fuente de emisión. Fuente: Capacitación Huella de Carbono, 2015.

La totalización de la incertidumbre del es resultado de la sumatoria de los productos de la incertidumbre agregada de cada fuente de emisión multiplicada por su respectivo aporte de emisiones de GEI en toneladas de CO₂ equivalente (en el cuadro 1 sumatoria de “representación de la incertidumbre TonCO₂eq”), la representación final se presenta porcentualmente.

En el cuadro 1 se muestran los cálculos de la incertidumbre de los inventarios de los centros de producción.

Cuadro 1. Calculo de la incertidumbre del inventario de GEI del Centro de Generación ArCoSa.

Fuente de emisión de GEI		Emisiones (ton CO ₂ eq)			Incertidumbre DA	Incertidumbre FE	Incertidumbre agregada %	Representación de la incertidumbre TonCO ₂ eq		
		CP Arenal	CP Dengo	CP Sandilla				CP Arenal	CP Dengo	CP Sandilla
Consumo de combustible (vehículos)	Diesel	24,10	42,541	19,785	0,005	0,02	2,0616	0,49683	0,87699	0,40788
	Gasolina	0,47	0,342	8,838	0,005	0,5	50,0025	0,23714	0,17120	4,41922
Consumo de combustible (equipo)	Diesel	17,75		4,447	0,005	0,02	2,0616	0,36602	0,16534	0,09168
	Gasolina	2,30	0,109	0,67	0,005	0,5	50,0025	1,14806	0,05444	0,33502
Consumo de gases	Extintores	0,33	0,023	0,14	0	0	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000
	Acetileno	0,02	0,275	0	0	0	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000
Consumo de gases refrigerantes	Doméstico	0,03	0,000	0	0	0,04	4,0000	0,00004	0,00000	0,00000
	Estacionarios	11,77	1,860	6,24	0	0,05	5,0000	0,58850	0,09300	0,31200
	Móvil	0,00	0,090	0,03	0	0,035	3,5000	0,00105	0,00315	0,00105
Consumo de sustancias químicas		0,03	0,254	0,06	0,05	0,5	50,2494	0,0160	0,1276	0,03015

Cuadro 1. Calculo de la incertidumbre del inventario de GEI del Centro de Generación ArCoSa (parte 2).

Fuente de emisión de GEI	Emisiones (ton CO ₂ eq)			Incertidumbre DA	Incertidumbre FE	Incertidumbre agregada %	Representación de la incertidumbre TonCO ₂ eq		
	CP Arenal	CP Dengo	CP Sandilla				CP Arenal	CP Dengo	CP Sandilla
Generación de aguas residuales	1296,27	945,920	761,96	0,05	0,3	30,4138	394,24639	287,69034	231,74109
Consumo eléctrico (servicio propio)	49,82	136,924	37,80	0,0001	0	0,0100	0,00498	0,01369	0,00378
Consumo eléctrico (servicio al cliente)	63,44	13,012	19,01	0,002	0	0,2000	0,12688	0,02602	0,03803
TOTAL	1466	1141	858				397,23	289,22	237,38

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Anexo 6. Herramientas de recolección de datos: Reconocimiento de alternativas de reducción.

Identificación de alternativas de reducción de emisiones							
Elaborado por:	Nancy Madrigal		Fecha de elaboración:	01-jun-15		Versión	1
Centro de Producción:			Responsable de aplicación:				
Fecha de aplicación:			Responsable de revisión:				
Participantes:							
Fuente de emisión	Prioridad	Descripción	Responsable	Requerimientos	Costos	Propuesta de ejecución	Indicador de reducción

Anexo 7. Especificaciones técnicas y de cálculo de alternativas de reducción de emisiones.

a. Optimización del uso de vehículos

Para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI anual alcanzada por la optimización de vehículos se considera la reducción de viajes al Valle Central como consecuencia de las directrices implementadas, se espera tener una reducción del 50% de los viajes realizados durante el año 2014 (aproximadamente 6 por mes). El cálculo se realizó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Reducción} \frac{\text{TonCO}_2\text{eq}}{\text{año}} = (\# \text{viajes } 2014) * 0,105 - (0,5 \# \text{viajes } 2014) * 0,105$$

El valor de 0,105 TonCO₂eq/viaje corresponde al factor de emisión de carbono por viaje realizado al Valle Central, este valor contempla el recorrido de 366 kilómetros (Tilarán-San José) según Google Maps. Y el consumo de 38,48L de diesel de acuerdo con los antecedentes de compra de combustible y de eficiencia de vehículos (9,51km/L) registrados por el encargado de transporte.

Los costos contemplan el gasto de 21 000 colones por el consumo de combustible más 4 000 colones de gastos por rubro de peajes ruta San José-Caldera para el año 2015.

Para el cálculo total de las emisiones evitadas durante el periodo 2014-2018, se considera el establecimiento de la propuesta a partir del año 2016, y la meta constante de reducir los viajes hasta el año 2018 (3 por mes).

b. Automatización de iluminación en niveles inferiores de casa de máquinas del CP Arenal

La reducción de emisiones de GEI a alcanzar por el cambio de la iluminación actual por tecnología LED es igual a:

$$\text{Reducción de emisiones} = \text{Emisiones consumo actual} - \text{emisiones modernización}$$

Las emisiones se calcularon utilizando el último factor de emisión por consumo eléctrico emitido a nivel nacional, de 0,117 kg CO₂/kWh (IMN, 2015). En el cuadro 1 se muestran los cálculos de reducción de emisiones por la automatización de iluminación en niveles inferiores.

Cuadro 1. Reducción de emisiones de GEI por cambio de tecnología de iluminación en niveles inferiores del CP Arenal.

	Actual	Modernización	Reducción de emisiones (año)*
Consumo anual (kWh/año)*	73788,4	53103,8	
Emisiones anuales (Ton CO₂eq/año)	8,63	6,21	2,42

*Se establecen 8 h diarias de funcionamiento y 365 días de funcionamiento anuales.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El consumo eléctrico se calculó de acuerdo a los diagnósticos realizados en planta y las especificaciones técnicas de producto brindadas por las empresas con las cuales se realizará el proceso de cambio (ver especificaciones en el cuadro 9 y 10).

Cuadro 2. Diagnóstico de iluminación de niveles inferiores del CP Arenal.

Equipo	Cantidad	Tubos	Total de tubos	Consumo por tubo (w)	Consumo total (KW)	Consumo* (KWh)
Cuarto de válvulas (318 m.s.n.m.) 50lx						
Lámparas Fluorescentes 40"	18	2	36	40	1,44	86,4
Lámparas F 40"	7	4	28	40	1,12	67,2

Cuadro 3. Diagnóstico de iluminación de niveles inferiores del CP Arenal (parte 2).

Equipo	Cantidad	Tubos	Total de tubos	Consumo por tubo (w)	Consumo total (KW)	Consumo* (KWh)
Cuarto de Turbinas (324m.s.n.m.) 177lx						
Lámparas Fluorescentes 40"	13	2	26	40	1,04	62,4
Lámparas Fluorescentes 48"	8	4	32	40	1,28	76,8
Lámparas Fluorescentes 48"	3	2	6	40	0,24	14,4
Lámparas Fluorescentes 96"	3	2	6	75	0,45	27
Sistema de enfriamiento 144lx						
Lámparas fluorescentes 40"	1	2	2	40	0,08	4,8
Lámparas fluorescentes 48"	11	4	44	40	1,76	105,6
Cuarto generadores (328m.s.n.m.) 142lx						
Lámparas fluorescentes 40"	1	2	2	40	0,08	4,8
Lámparas fluorescentes 48"	21	4	84	40	3,36	201,6
Lámparas fluorescentes 48"	37	2	74	40	2,96	177,6
Nivel principal (332m.s.n.m.)						
Lámparas fluorescentes 40"	12	2	24	40	0,96	57,6
Lámparas fluorescentes 96"	12	1	12	75	0,9	54
Metalarc campana	24	1	24	400	9,6	576
Total	171		400		25,27	1516,2

Fuente: Elaboración propia, 2015. *60 Horas semanales

Cuadro 4. Propuesta de cambio de iluminación de niveles inferiores del CP Arenal.

Equipo	Cantidad	Consumo por luminaria(w)	Consumo total (KW)	Consumo (KWh)*
Cuarto de válvulas (318 m.s.n.m.) 50lx				
ZL1N L48 5000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH	13	41	0,533	4,264
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	14	99	1,386	11,088
IBH 12000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	14	125	1,75	14
Cuarto de Turbinas (324m.s.n.m.) 177lx				
ZL1N L48 5000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH	4	41	0,164	1,312
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	24	99	2,376	19,008
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	4	125	0,5	4
Sistema de enfriamiento 144lx				
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	8	41	0,328	2,624
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	10	72	0,72	5,76
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	17	99	1,683	13,464
IBH 12000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	9	125	1,125	9
Cuarto generadores (328m.s.n.m.) 142lx				
IBH 9000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	9	99	0,891	7,128
IBH 12000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	3	125	0,375	3

Cuadro 4. Propuesta de cambio de iluminación de niveles inferiores del CP Arenal (parte 2).

Equipo	Cantidad	Consumo por luminaria(w)	Consumo total (KW)	Consumo (KWh)*
Nivel principal (332m.s.n.m.)				
IBH 18000LM SD080 MD MVOLT OZ10 40K 80CRI WH	24	198	4,752	38,016
ZL1N L48 7000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH	4	41	0,164	1,312
ZL1N L48 7000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH	20	72	1,44	11,52
TOTAL	177		18,187	145,496

Fuente: Elaboración propia, 2015. *60 Horas semanales

c. Cambio de iluminación externa convencional de bajo consumo del CP Arenal

Los cálculos de reducciones se realizaron de igual forma a los presentados en el apartado anterior.

Cuadro 5. Reducción de emisiones de GEI por cambio de iluminación exterior de casa de máquinas del CP Arenal.

	Actual	Modernización	Reducción de emisiones (año)*
Consumo anual (kWh/año)*	5256	700,8	
Emisiones anuales (Ton CO₂eq/año)	0,61	0,082	0,53

*Se asume un funcionamiento de 12 horas diarias de funcionamiento los 365 días del año.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el cuadro 6 se muestran las especificaciones técnicas de la propuesta de cambio aportada.

Cuadro 6. Propuesta de cambio de iluminación externa convencional en el CP Arenal.

Tipo	Cantidad	Consumo (w)	Consumo total KWh (12h día)	Consumo anual (kWh)
Diagnostico actual				
Mercurio 120 v	8	150	14,4	5256
Modernización				
LED	8	20	1,92	700,8

Fuente: Elaboración propia, 2016.

d. Sistema de emergencia como sistema de enfriamiento alternativo del CP Arenal

Es importante mencionar que actualmente no se poseen datos del tiempo en el que el sistema de emergencias funciona al año ni el tiempo que eventualmente podría utilizarse en un futuro como sistema de enfriamiento alternativo, es necesario hacer una aproximación asumiendo un periodo actual y futuro de funcionamiento basado en el conocimiento del personal de planta.

La potencia de consumo de cada bomba corresponde a un total de 55kw (ICE, 1995), de las cuales se propone reducir su consumo durante el periodo total de 4 meses de 30 días, con un funcionamiento de 10h/día. Se utiliza el factor de emisión de consumo eléctrico publicado por el IMN (2015) para el año 2014, igual a 0,117ton CO₂eq. Se obtiene como resultado que se evitan anualmente 23,16 Toneladas de carbono equivalente por la aplicación de dicha alternativa. Los cálculos se presentan a continuación:

$$23,16 \text{ Ton } CO_2eq/año = \left(((55kw * 10h) * 3) * (30días * 4meses) \right) * 0,117kgCO_2/kwh$$

e. Separación del sistema de enfriamiento por unidad generadora

f. Cambio de iluminación de almacén Dengo, CP Dengo.

En el cuadro 7 se muestran las reducciones de emisiones a alcanzar por el cambio de iluminación del almacén Dengo. Los cálculos de reducción se realizaron de acuerdo a las indicaciones aportadas anteriormente.

Cuadro 7. Reducción de emisiones de GEI por cambio de tecnología de iluminación del Tanque de Oscilación del CP Dengo.

		Actual	Modernización	Reducción de emisiones (año)*
Consumo	anual	1173,8	632,91	
(kWh/año)*				
Emisiones	anuales	0,14	0,07	0,06
(Ton CO₂eq/año)				

Fuente: Elaboración propia. 2016.

*Se establece un total de 8h de funcionamiento por día y 365 días de funcionamiento al año.

En el cuadro 8 se muestran el diagnostico actual y las especificaciones técnicas del cambio de luminaria a realizar.

Cuadro 8. Propuesta de cambio de iluminación de almacén Dengo.

Tipo de Bombillos o fluorescente	Propuesta de cambio /LED
2 Bombillos incandescentes 120v/ 50w	2 Reflectora/ R50 / 6w
2 fluorescente 2 pines 1.22 m 120v/40w	2 ZL1N L48 5000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH/41w
36 fluorescente 1 pin 2.44m 120v/ 36w	36 ZL1N L48 7000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH/41w
4 fluorescente 2 pines 1.22 m 120 v/32w	4 ZL1N L48 5000LM FST MVOLT 40K 80CRI WH/41w

Fuente: Elaboración propia, 2016.

g. Establecimiento de sistemas silvopastoriles en áreas de influencia del CG ArCoSa

El cálculo de las emisiones de CO₂ capturadas al anualmente por la implementación de sistemas silvopastoriles se calculó de acuerdo con metodologías utilizadas por el ICE¹, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ capturadas} = (\text{ha pasto mejora} * 0,11) * \text{meses desde la siembra}$$

Se utilizaron como datos de cálculo (hectáreas de pasto mejorado y tiempo de siembra) información de indicadores de cumplimiento de proyectos proporcionada por el encargado del área agrosilvopecuaria. Como bases de referencia para el cálculo de emisiones evitadas se utilizó el valor de referencia de 0,11 TonCO₂ capturado/ha*mes de pasto sembrado, estimado por el ICE¹, sustentado por investigaciones realizadas en la región seca de Guanacaste (Andrade *et al* 2007, Rojas *et al*, 2009).

En el caso de los proyectos futuros se utilizó como base la meta mínima del establecimiento de 6 hectáreas de pasto mejorado, con un promedio de aprovechamiento de 6 meses al año (de acuerdo con experiencias anteriores). Las emisiones de carbono totales capturadas para el periodo 2014-2018 corresponde a la sumatoria de las emisiones de GEI correspondientes a las hectáreas sembradas anualmente hasta el 2018, más él acumulado de las hectáreas sembradas a partir del 2014 (inscritas como proyectos de Sistemas Silvopastoriles).

En el cuadro 9 se muestran los datos referentes al cálculo de capturas de carbono por el establecimiento de pasturas mejoradas en SSPs.

Cuadro 9. Proyectos de sistemas silvopastoriles ejecutados durante el año 2015 en el CG ArCoSa.

¹ Murillo, R. 2015. Cálculo de capturas de CO₂ por pasturas. Tilarán, Guanacaste. Instituto Costarricense de Electricidad.

Descripción	Indicador (Ha sembradas)	Factor de emisión (Ton CO ₂ eq/mes)	Emisiones de CO ₂ capturadas (Ton CO ₂ eq/año)*	Emisiones totales (2014-2018)
2015 SSP Influencia Arenal/ Pasto de piso <i>Bracharia Brizantina Decumbens</i>	10	1,1	6,6	26,4
2015 SSP Influencia Arenal Pasto de corta <i>Panicum Maximun Mombaza</i>	2	0,22	1,32	5,28
2015 SSP Influencia Dengo/ Pasto de corta <i>Panicum Maximun Mombaza</i>	2	0,22	1,32	5,28
2016	6	0,66	3,96	11,88
2017	6	0,66	3,96	7,92
2018	6	0,66	3,96	3,96
TOTAL				60,72

Fuente: Elaboración propia, 2015.

*6 meses de productividad.

h. Establecimiento de biodigestores en áreas de influencia del CG ArCoSa

Para el cálculo de capturas de carbono por el establecimiento de biodigestores se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Ton CO}_2 \text{ eq} \frac{\text{capturado}}{\text{año}} = \left(\left(\# \text{cabezas de ganado} * \frac{85 \text{KgCH}_4}{\text{año}} \right) * 21 \right) / 1000$$

Se utiliza el valor de referencia para emisiones por sistema digestivo de ganado vacuno aportado por el IMN (2015) igual a 85kgCH₄/año. Las demás variables fueron aportadas por el encargado del área silvopecuaria.

En el caso de los proyectos futuros se asume un promedio de 20 cabezas de ganado. Y se proyecta el establecimiento de 2 biodigestores al año. En los dos casos se asume un periodo de duración de cada proyecto de 3 años.

La captura de carbono proyectada para el periodo 2014-2018 es producto de la sumatoria de las emisiones capturadas por los proyectos desarrollados durante cada año del periodo 2014-2018 y el acumulado de cada proyecto establecido desde el 2014 hasta el año 2018. Para proyectos futuros se asumió un promedio de 20 cabezas de ganado.

En el cuadro 10 se muestran los datos correspondientes al cálculo de capturas de carbono realizadas por el establecimiento de biodigestores.

Cuadro 10. Capturas de carbono realizadas por el establecimiento de biodigestores en áreas de influencia del CG ArCoSa.

Proyecto	# Cabezas de ganado	Ton CO ₂ eq capturado/año	Ton CO ₂ eq capturados/ 2014-2018
Finca 1	25	44,625	178,5
Finca 2	15	26,775	107,1
Finca 3	18	32,13	128,52
2016	20	35,7	107,1
2017	20	35,7	71,4
2018	20	35,7	35,7
TOTAL			628,32

Fuente: Elaboración propia, 2015.

i. Producción de abono orgánico áreas de influencia del CG ArCoSa

La captura de CO₂eq/año producto del procesamiento de excretas animales para la producción de abono orgánico se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Capturas} \frac{\text{Ton CO}_2\text{eq}}{\text{año}} = ((\text{kg Excretas procesadas} * 0,85\text{kg}) * 21)/1000$$

Se utiliza el valor de referencia para emisiones por sistema digestivo de ganado vacuno aportado por el IMN (2015) igual a 85kgCH₄/año. Las demás variables fueron

aportadas por el encargado del área silvopecuaria. Además, se utiliza el factor de conversión de 0,8kg abono/kg excreta procesada utilizado por el ICE².

En el caso de las capturas proyectadas para el periodo 2014-2018 se consideran las emisiones de GEI capturadas por proyecto desarrollado anualmente más las emisiones acumuladas de cada proyecto desde el año 2014 hasta el año 2018, de acuerdo con su año de implementación.

Cuadro 11. Capturas de carbono realizadas por el establecimiento de biodigestores en áreas de influencia del CG ArCoSa.

Año	Residuo procesado (kg/año)	Abono producido (Ton/año)	Ton CO₂eq capturado/año	Ton CO₂eq capturados/ 2014- 2018
2015	650	0,5	11,6025	46,41
2016	650	0,5	11,6025	34,80
2017	650	0,5	11,6025	23,20
2018	650	0,5	11,6025	11,60
TOTAL				116,02

Fuente: Elaboración propia, 2015.

² Murillo, R. 2015. Cálculo de capturas de CO₂ producción de abono orgánico. Tilarán, Guanacaste. Instituto Costarricense de Electricidad.



Instituto Costarricense de Electricidad

Centro de Generación ArCoSa

**Anteproyecto del Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero
para ArCoSa (Complejo de Centros de Producción hidroeléctrica)**



Nancy Madrigal Morales

Enero 2015

El anteproyecto del Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el Centro de Generación ArCoSa (Complejo de Centros de producción hidroeléctrica del ICE), pretende describir las características y límites, bajo los cuales se desarrollará el inventario de emisiones de GEI, así convenido por la organización. Los principios que rigen la elaboración del inventario e informe son:

- **Relevancia:** Asegura que el inventario de GEI refleje de manera apropiada las emisiones del Centro de Generación y que sea un elemento objetivo en la toma de decisiones tanto de usuarios internos como externos a la empresa.
- **Integridad:** Se deben abarcar todas las fuentes de emisión de GEI y las actividades incluidas dentro de los límites convenidos, para realizar la contabilidad y el reporte.
- **Consistencia:** Las metodologías utilizadas deben permitir comparaciones significativas de las emisiones a lo largo del tiempo.
- **Transparencia:** Se deben atender todos los aspectos que resulten significativos de manera objetiva y coherente, basada en un seguimiento de auditoría transparente.
- **Precisión:** Se debe evitar la presencia de errores sistemáticos o desviaciones con respecto a las emisiones reales en la cuantificación de emisiones de GEI, buscando siempre la máxima y viable reducción de la incertidumbre.

El Inventario de Gases de Efecto Invernadero para el Centro de Generación ArCoSa, se desarrollará de acuerdo con los lineamientos establecidos por la legislación nacional los cuales son; el “Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte” del GHG Protocol, WRI y WBCSD; el cual satisface los requerimientos tanto de la Norma ISO 14064-1:2006, como de la norma nacional “INTE 12-01-06: 2011 Sistema de gestión para demostrar la C-Neutralidad”; y lo establecido en el procedimiento PE-83-PR-92-002 Cuantificación y desarrollo de informe de GEIs.

1. Caracterización de la organización

1.1. Caracterización organizacional

El ICE es una institución autónoma del Estado costarricense con el mandato legal de proveer la energía eléctrica que la sociedad requiera para su desarrollo. Mediante su decreto de creación (Decreto-Ley No.449) se establece que la gestión técnica, los programas de trabajo, las obras y proyectos que emprenda son su responsabilidad y no dependen de ningún otro órgano del Estado. Actualmente el ICE forma parte del Grupo ICE en conjunto con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL) y la Radiográfica Costarricense, S.A. (RACSA S. A.) (ICE, 2014).

El desarrollo eléctrico en el país se suple con la generación, trasmisión, distribución y venta de la energía. En referencia a la generación, el ICE desarrolla proyectos utilizando diversas fuentes; fósiles, renovables y no convencionales.

La estructura organizacional de esta empresa es muy amplia, Grupo ICE se lidera por una Presidencia Ejecutiva que tiene bajo su cargo los diferentes niveles de gerencia correspondientes a áreas funcionales específicas.

El Sector de Electricidad agrupa aquellas actividades necesarias para la construcción, generación, distribución y venta de electricidad, de esta forma se estructura en Negocios; siendo el enfoque de este proyecto el Negocio de Generación, el cual se conforma de centros de generación que agrupan varios centros de producción, como se muestra en la figura 1.

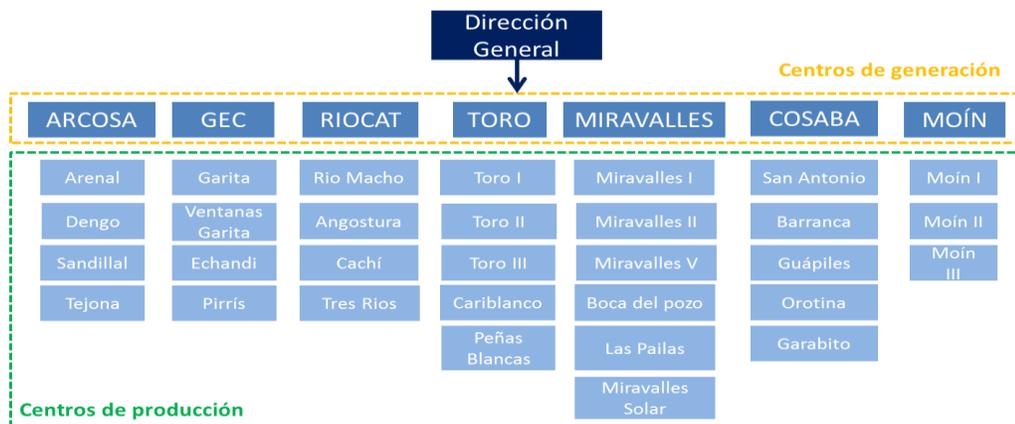


Figura 1. División del Negocio de Generación. Heredia, 2015.

El presente inventario se desarrollará en el Centro de Generación ArCoSa, ubicado en los cantones de Tilarán y Cañas, que posee un área de influencia de una longitud total de 419.99 km y un área superficie total de 309 332.09 ha, abarca cuatro cuencas hidrográficas: la del río Arenal (embalse Arenal), la del Lago Cote, la del río Bebedero y la del Distrito de Riego (DRAT). Se compone por tres proyectos hidroeléctricos (Arenal, Miguel Dengo y Sandillal), y el proyecto eólico Tejona (figura 1). En lo que se refiere al sistema de generación hidroeléctrico funciona mediante un sistema de cascada que realiza un aprovechamiento de las aguas del río Arenal, almacenadas en el Embalse Arenal, este sistema permite un máximo aprovechamiento de la fuente (Ramírez, 2009).

Organizativamente los aspectos de calidad, ambiente y salud y seguridad ocupacional del Negocio de Generación se gestionan mediante un Sistema Integrado de Gestión (SIG). El alcance del SIG cubre el centro en estudio (ArCoSa), por lo tanto se deben considerar los lineamientos interpuestos por el SIG en el desarrollo del inventario.

El SIG define los siguientes procesos realizados por el Negocio de Generación (ICE, 2014-1):

- Procesos Gobernantes: constituyen un conjunto de procesos relacionadas con el direccionamiento estratégico y toda la gestión de mejora continua para asegurar la sostenibilidad del negocio.
- Procesos Principales: Se refiere a los procesos del negocio de generación, operación y mantenimiento.
- Procesos de Soporte al Negocio: son los procesos transversales a la cadena de valor, que dan soporte a la gestión socio-ambiental y en la recepción de nuevas obras, modernizaciones y retiros.
- Procesos Administrativos: Son los procesos que brindan la gestión administrativa del negocio.

1.2. Caracterización operacional

Cada centro de producción cuenta con componentes básicos requeridos para la actividad de generación de electricidad que se encuentran distribuidos en diferentes áreas geográficas, a lo que se le llamará estaciones, dentro de las cuales se identifican las áreas físicas determinadas por el SIG como alcances de gestión.

A continuación, se describen las áreas y actividades realizadas en cada Centro de Producción:

1.2.1 Centro de Producción hidroeléctrico Arenal (C.P Arenal)

Corresponde a uno de los centros de producción más importantes del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ocupando el tercer lugar en capacidad de generación de las plantas del SEN, de acuerdo con el ICE, “no sólo por su capacidad de generación sino también, por su capacidad de regulación del SEN.” Además, corresponde al primer y más importante aprovechamiento del Complejo Hidroeléctrico río Arenal (MINAE, 1998).

Esta central posee una potencia instalada de 157 398 KW y aporta al SEN en promedio aproximadamente 641 Gwh anuales. Su explotación hídrica se logra aprovechando las aguas de la cuenca del río de Arenal, del que se aprovechan 97,5 m³/s (caudal diseño), que se logran con el represamiento del río Arenal y sus afluentes, Aguas Gatas, Caño Negro, Chiquito y otros de menor importancia que son: el San Luis, Sábalo, Piedra, Aguacate, Dos Bocas, Mata de Caña y los caudales producto de los desvíos de los ríos Fortuna y Cote.

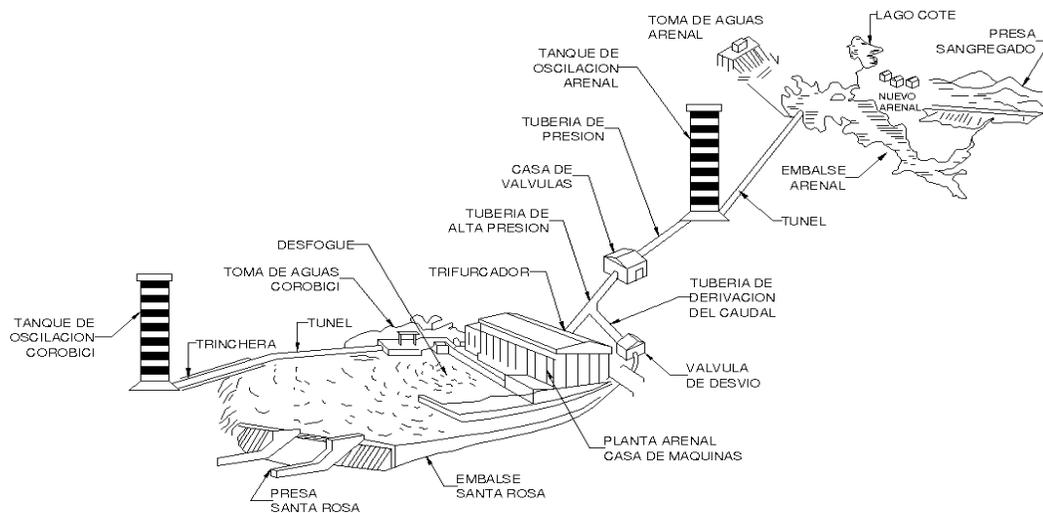


Figura 2. Esquema básico del Centro de Producción Arenal. Fuente: ICE, 2011.

Las instalaciones que componen el C.P Arenal se agrupan en las siguientes estaciones (Figura 2):

a. Embalse Arenal:

El embalse Arenal es una laguna artificial ampliada sobre una laguna natural, se comenzó a llenar en el año 1978 y finalizó aproximadamente un año después y no se ha vaciado hasta la actualidad. Se ubica a 546 m.s.n.m, cubre un área de 87,8 km², lo que es correspondiente a un 18% del área total de la cuenca del Arenal. Posee un almacenamiento de 2 416 millones de m³, de los cuales 1 990 millones de m³ constituyen el volumen útil para la generación de electricidad. Este volumen se conforma con el abastecimiento de 80 ríos, destacando por su aporte; Río Caño Negro y Río Chiquito.

b. Estación represa:

La estación represa se ubica en la Fortuna de San Carlos. Es importante mencionar que esta estación no existe actualmente actividad operativa. Los componentes que podemos ubicar en esta sección son:

- Presa Sangregado.
- Torre compuerta y túnel de desvío.
- Vertedor y túnel vertedor.

- Caseta de vigilancia.

c. Estación toma de agua:

Se considera como el sitio donde se realizan las operaciones de captación y demás actividades realizadas dentro de la misma área. Se compone de: Obras de toma, caseta de operación, caseta de agua potable, planta de emergencia, subestación de distribución, cobertizo maquinaria, tanque de combustible.

d. Casa de máquinas

La casa de máquinas está ubicada 3,3km al oeste de la ciudad de Tilarán, Guanacaste. Sus dimensiones son: 21 m de ancho, 54,5 m de largo y 31,4 m de alto, con una superficie total de 1 145m². Se compone de: sistema de conducción (Tanque de oscilación, tubería de presión, Galerías, válvulas), casa de válvulas, casa de máquinas (tres unidades turbogeneradoras tipo Francis de eje vertical marca FUJI de construcción japonesa de 360 rpm impulsadas por una caída bruta promedio de cabeza de agua de 210 m y capacidad de generación de 52 466,25 kW para una potencia total nominal de 157 398 MW), taller (eléctrico y mecánico), almacenes (Materiales, repuestos y productos químicos), subestación de distribución y edificio administrativo.

1.2.2. Centro de Producción Miguel Dengo (C.P Dengo):

El Centro de Producción Miguel Dengo se ubica a 4,5 km al norte de la ciudad de Cañas, Guanacaste. Corresponde al segundo aprovechamiento del sistema Arenal, utilizando las aguas utilizadas en el primer aprovechamiento más las aportadas por el río Santa Rosa. Sus componentes han sido clasificados en las siguientes estaciones:

a. Embalse Santa Rosa:

El embalse Santa Rosa pertenece al Centro de Producción Dengo, pero se ubica en casa de máquinas Arenal. Este embalse funciona como área de descarga de las aguas utilizadas para la generación del C.P Arenal. Su nivel de restitución normal es de 330 m.s.n.m., lo que significa una caída de agua bruta promedio normal de 210 m. Su volumen es de 143.670 m³ con un volumen útil del embalse de solo 111 000 m³, lo cual permite la operación coordinada de las dos plantas,

evitando derrames y garantizando la operación de la Miguel Dengo por un corto tiempo, en caso de interrupciones temporales de una o más unidades de la Arenal. Los afluentes de este embalse son las mismas aguas empleadas en la Arenal más un pequeño aporte del río Santa Rosa.

b. Estación Casa de máquinas

Estas instalaciones se encuentran a 4,5 km al norte de Cañas. Se compone de: obras de conducción, tanque de oscilación, casa de válvulas, casa de máquinas (tres unidades turbogeneradoras tipo Francis, de marca Mitsubishi de 58 MW aprovechando una caída bruta de 234 metro), sistema fijo contra incendios, bodega de materiales de recuperación (eléctrica y mecánica), taller (Eléctrico, civil, mecánico y estructuras) y edificio administrativo.

1.2.3 Centro de Producción Sandillal (C.P Sandillal)

Sandillal corresponde al tercer y último aprovechamiento hidroeléctrico del Complejo Hidroeléctrico río Arenal, se ubica en Cañas Guanacaste y cuenta con un embalse conocido como Sandillal también ubicado sobre el río Santa Rosa, este tiene como funciones generar electricidad y regular las aguas provenientes de las plantas Arenal y Miguel Dengo, para adecuarlas a los requerimientos de riego. Este C.P funciona mediante un mecanismo de uso de caudal y no de altura como los dos anteriores. De acuerdo con el área civil de ArCoSa el C.P Sandillal se compone de:

a. **Embalse Sandillal:** Abarca un volumen de 6,26 hm³ en un área de 71 hectáreas, con una elevación máxima normal de 93 metros sobre el nivel del mar y un nivel mínimo de operación de 88 metros sobre el nivel del mar. El agua proviene del lago de Arenal, luego de pasar por la casa de máquinas de las plantas Arenal y Miguel Dengo.

b. Estación toma de aguas:

La estación toma de aguas se encuentra ubicada en los márgenes del embalse en el cantón de Cañas Guanacaste. Se establecen los siguientes como componentes del C.P Sandillal agrupados en esta estación; presa Sandillal, obras de excedencias, toma de aguas y caseta de operación.

c. Estación Casa de Máquinas:

Está ubicado 4 km al norte de Cañas, sobre el río Santa Rosa. En esta área se realizan las operaciones de generación del C.P Sandillal, además de esto se encuentran otras áreas relacionadas con la operación principal, como oficinas, almacenes, talleres, entre otros. A continuación, se mencionan las características de los componentes infraestructurales de la estación: obras de conducción, casa de máquinas (dos turbinas tipo Kaplan de 16,5 MW cada una), canal de restitución y descarga de fondo y almacenes y talleres.

Además de las operaciones descritas anteriormente se encuentran otras que no se relacionan específicamente con una instalación y se presentan en todos los centros de producción y sus componentes.

- Transporte: cada área cuenta con su flotilla vehicular el cual es administrado por el centro de producción.
- En todas las instalaciones se generan residuos sólidos ordinarios que se disponen en relleno sanitario.
- Las aguas residuales en todas las instalaciones se manejan mediante el uso de tanques sépticos.
- Las instalaciones cuentan con aire acondicionado.
- En todas las instalaciones se encuentran sistemas contra incendios, que implican el uso de extintores.
- En las instalaciones se utilizan equipos de maquinaria menor que son utilizados en obras de mantenimiento, limpieza o jardinería.

2. Características del inventario de emisiones de GEI.

2.1. Límites organizacionales

Los límites organizacionales establecidos en este proyecto corresponden a la delimitación geográfica del C.G ArCoSa, y delimitación organizacional del Negocio de Generación, ambas en función del sector hidroeléctrico.

El Inventario de Gases de Efecto Invernadero de ArCoSa se realizará en los límites organizacionales determinados con anterioridad y bajo el enfoque de control, esto indica que se contabilizarán 100% de sus emisiones de GEI atribuibles a las operaciones sobre las cuales ArCoSa ejerce control. No se contabilizarán emisiones de GEI provenientes de operaciones de las cuales la empresa es propietaria de alguna participación pero no tiene el control de las mismas (ej. sub contratadas). Este control es determinado en términos operacionales. De acuerdo con el SIG se considerarán dentro del inventario solamente los procesos principales del Negocio de Generación, C.G ArCoSa. En la figura 3 se ilustran los límites organizacionales del inventario de emisiones de GEI a desarrollar.

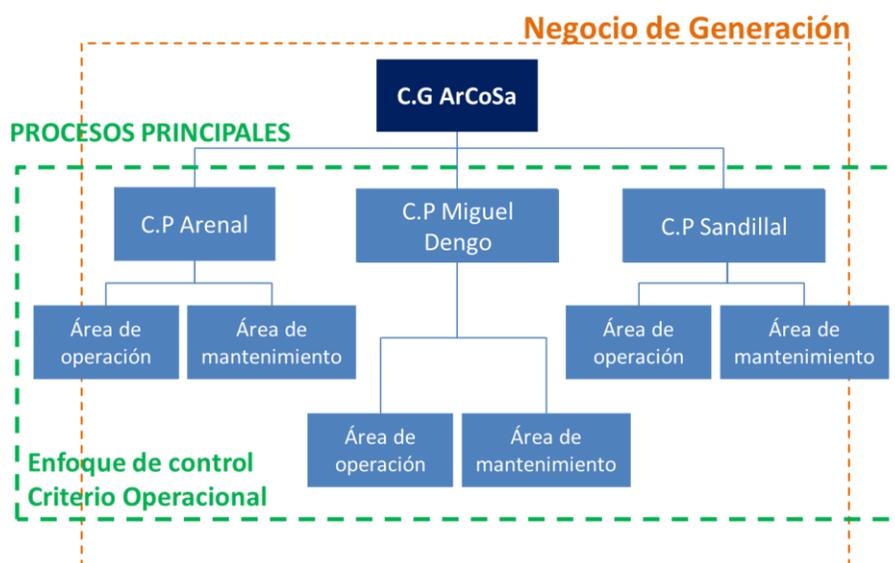


Figura 3. Límites organizacionales para el desarrollo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero en el C.G ArCoSa. Heredia, 2014.

El desarrollo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero tiene como objetivos:

- Levantar una línea base para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en ArCoSa y la verificación de la C-Neutralidad de la organización.
- Identificar oportunidades de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para efectos de este proyecto se seleccionó el año 2014 como año base, debido a que para años anteriores no hay disponible información verificable sobre las emisiones del GEI.

Los actores identificados como claves para la conformación de un equipo de trabajo para ejecución y seguimiento del inventario se identificaron mediante reuniones con los coordinadores de área, revisión de responsabilidades, desempeño laboral y áreas de gestión. En el cuadro 1 se muestran los actores:

Cuadro 1. Actores clave para la conformación del equipo de trabajo del Inventario de GEI, ArCoSa. Heredia, 2014.

Actor	Responsabilidades
Coordinador de planta	<ul style="list-style-type: none"> -Apoyar el desarrollo del inventario de GEI dentro de su área de gestión. -Definir el equipo de apoyo para el desarrollo del Inventario y designar responsabilidades dentro de las áreas de gestión del centro para el desarrollo de actividades del inventario. -Procurar la existencia de recursos para el desarrollo del inventario. -Revisar y aprobar directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del Inventario de GEI dentro de su área de gestión. - Asegurar la actualización del informe de las fuentes de GEIs y remoción mediante la revisión anual de cambios en los límites organizacionales y operacionales a través del SIG.
Encargado de Calidad, Ambiente y Riesgo (ECAR)/ Encargado de Mantenimiento/ Encargado de vehículos y fondo de trabajo/ Encargado eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> -Designar responsabilidades dentro de su área de gestión para el desarrollo de actividades del inventario. -Colaborar en el suministro de información necesaria para los inventarios. -Participar en la elaboración de directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del inventario. -Crear, aprobar y comunicar directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del Inventario de GEI dentro de su área de gestión. -Brindar información solicitada relacionada con su área de

	<p>gestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Participar en la búsqueda de mejoras para la reducción de emisiones dentro de su área de gestión. -Velar por la existencia de información verificable en relación a las fuentes de emisión de gases de GEI. -El equipo de apoyo es responsable de la identificación de las fuentes de emisión por área de gestión, utilizando los formatos establecidos (PE-83-FO-81-005).
<p>Gestor Ambiental o especialista en GEI</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Actualizar, revisar y aprobar anualmente el Inventario de Emisiones de GEI en conjunto con el Coordinador del Centro de Producción en coordinación. -Asegurar que se realicen verificaciones de los inventarios de fuentes GEI y remociones con el objetivo de asegurar la calidad del inventario de GEI. -Elaborar, aprobar y comunicar directrices y lineamientos requeridos para el desarrollo del Inventario de GEI dentro de su área de gestión. - Asegurar la actualización del informe de las fuentes de GEIs. -Dar seguimiento a los resultados obtenidos.

2.2. Límites operacionales

Los límites operativos incluyen las operaciones en la Planta de Generación hasta la entrega de energía en el transformador de alta tensión. De acuerdo con la identificación de fuentes de emisiones de GEI se consideran dentro de los límites operacionales las fuentes descritas en el cuadro 2.

Cuadro 2. Fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero identificadas para el C.G ArCoSa. Heredia, 2014.

Aspecto Ambiental	Fuentes de emisión de GEI, actividades u operaciones	Tipo de Fuente	GEI
Consumo de combustibles	Consumo de combustibles para transporte (motos y vehículos)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Consumo de combustibles transporte acuático (lanchas, transportadores, etc)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Consumo combustible equipo menor (equipos de bombeo, sistemas fijos contra incendios, montacargas, herramientas de corte, plantas de emergencia, cierras)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Consumo combustible equipo mayor (dragas, grúas, volquetes)	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Consumo de gases (Acetileno, CO₂)	Uso de extintores de CO ₂	Directa, Fugitivas	CO ₂
	Uso de acetileno estos para soldadura y corte	Directa, Fugitivas	CO ₂
Consumo de aceites y lubricantes	Uso de estos productos en labores de mantenimiento	Directa	CO ₂
*Generación de emisiones por embalses	Almacenamiento del agua	Directa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Consumo de sustancias refrigerantes	Refrigeradores	Directa, Fugitivas	CO ₂
	Aires acondicionados vehículos (móviles)	Directa, Fugitivas	CO ₂
	Aires acondicionados generales /estacionarios	Directa, Fugitivas	CO ₂

Cuadro 4. Descripción de fuentes de emisiones de GEI identificadas para el CG ArCoSa (parte 2).

Aspecto Ambiental	Fuentes de emisión de GEI, actividades u operaciones	Tipo de Fuente	GEI
Generación de aguas residuales	Uso de tanques sépticos	Directa	CH ₄
*Generación de residuos sólidos	Disposición de residuos en Relleno Sanitario	Directa	CO ₂
	Disposición de residuos en compost	Directa	CH ₄
Consumo eléctrico (Servicio propio)	Iluminación, Electrodomésticos, equipos de oficina y otros.	Directa	CO ₂

Es fundamental hacer notar que existen fuentes de emisión que se contabilizarán pero no se reportarán dentro de la huella de carbono, debido a que implican una doble contabilidad o caen fuera de los límites establecidos. Estas son:

- Emisiones por embalses: Estas emisiones se consideran como parte del factor nacional de consumo eléctrico (FEC), se contabilizan como un indicador de mejora ambiental.
- Emisiones por disposición de residuos sólidos: Estas emisiones se cargan al gestor de residuos sólidos, se contabilizan como un indicador de mejora ambiental.

En concordancia con el tipo de fuentes encontradas (directas e indirectas) se establece que los alcances a considerar en este inventario son de Tipo 1 y Tipo 2.

De acuerdo con el cuadro 2, y su predominancia se define que los contaminantes a inventariar:

- Dióxido de carbono (CO_2): Producto de procesos de combustión. Principalmente uso de motores y combustibles fósiles.
- Metano (CH_4): Predominante en la descomposición de materia orgánica en estado anaerobio.
- Óxido nitroso (N_2O): Presente en menores cantidades como subproducto de procesos de combustión de combustibles fósiles y procesos de descomposición de la materia orgánica.
- Gases fluorados: son agentes degradantes de la capa de ozono en su mayoría. Se encuentran presentes como refrigerantes, agentes extintores de incendios, disolventes y espumas aislantes.

- **3. Metodologías de cálculo**

De acuerdo con INTECO (2009), el esquema básico de desarrollo del inventario (figura 4) cuenta de 5 pasos que van desde la identificación de fuentes hasta la comunicación de los resultados obtenidos o divulgación del inventario.

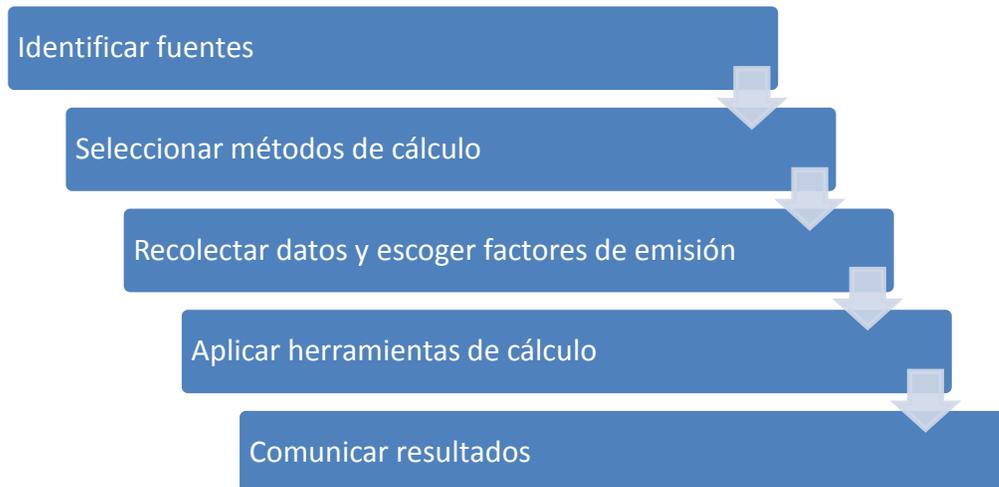


Figura 4. Pasos para el desarrollo de inventarios. Heredia, 2015.

Referencias bibliográficas

Brenes, A. 2002. Plantas del ICE: Especificaciones Técnicas N°2. ICE. San José, CR.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2014. Acerca del ICE (en línea). Consultado el 5 oct, 2014. Disponible en: <http://www.grupoice.com/wps/portal/acercaDe#.VK1RYyuG9u4>

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2014-1. Manual del SIG: UEN Producción de electricidad. San José, CR 97p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2014-2. PE-83-PR-92-002: Cuantificación y desarrollo de informes de GEI, UEN Producción. San José, CR. 7p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2011. Postulación al Premio Nacional a la Calidad en la Gestión Pública 2011. San José, CR 76p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). sf. Anexo 1: Términos de Referencia Técnicos para: Estudio de factibilidad Modernización Arenal. San José, CR. s.e. 96p.

INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2009. Norma Nacional para la gestión de huella de carbono. San José, Cr. 29p.

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 1998. Plan de Manejo y Desarrollo de la Cuenca Laguna Arenal. San José, CR. 243p.

Ramírez A, 2009. Diagnóstico Biofísico de las Cuencas de Intervención del Centro de Generación ArCoSa. San José, CR. ICE. s.p.

WBDCS (World Business Council for Sustainable Development, CH); WRI (World Resources Institute, CH). 2001. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar Corporativo de contabilidad y reporte. 132p.