

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA



PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIATURA EN  
INGENIERIA AMBIENTAL

Cuantificación de Huella de Carbono en once estaciones de telecomunicaciones  
y en la flota vehicular de la División de Negocios de Banda Ancha, Gerencia de  
Telecomunicaciones, Instituto Costarricense de Electricidad

REALIZADO POR:

Natalia Gamboa Alpízar

23 de enero, 2012

Cuantificación de Huella de Carbono en once estaciones de telecomunicaciones y en la flota vehicular de la División de Negocios de Banda Ancha, Gerencia de Telecomunicaciones, Instituto Costarricense de Electricidad

Informe presentado a la Escuela de Química  
del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero ambiental con el grado en Licenciatura

**Miembros del Tribunal**

---

**Dr.. Edgar Ortiz Malavassi**

**Director de Tesis**

---

**Ing. David Benavides Ramírez**

**Lector 1**

---

**Lic. Juan Carlos Barrientos Umaña**

**Lector 2**

## **Dedicatoria**

A todas las personas que creyeron en este proyecto.

A mis padres, hermanos y amigos.

## **Agradecimientos**

Agradezco a los compañeros y amigos del Comité de Gestión Ambiental de la DNBA del sector de Telecomunicaciones por su incondicional apoyo para la realización del proyecto: Ing. Adriana Coronado Núñez, Licda. Sonia Morales Cordero, Ing. Gustavo Jiménez Zúñiga, Lic. Juan Carlos Barrientos Umaña, Ms. Jorge Luis Mayorga Esquivel y Sr. Lorenzo Murillo Monge. A los demás compañeros de la Institución que atendieron anuentemente las distintas solicitudes de información.

Agradezco de sobremanera a todos los que brindaron su ayuda para concluir el proyecto, en especial a los ingenieros forestales: Guillermo Alvarado, Michael Garro y Maureen Arguedas.

Agradezco a mi hermana por su colaboración y a mis padres por el constante apoyo.

## Contenido

1. Índice de figuras .....	VII
2. Índice de cuadros.....	VIII
3. Resumen .....	IX
4. Abstract.....	X
5. Introducción .....	10
6. Objetivos.....	11
6.1. General.....	11
6.2. Específicos .....	11
7. Marco conceptual .....	12
7.1 Emisiones por combustión de combustibles fósiles (Diesel y Gasolina) .....	14
7.2 Emisiones de refrigerantes .....	15
7.3. Emisiones por consumo de energía eléctrica .....	17
7.4 Medidas ambientales: mitigación de los efectos de los GEI.....	18
8. Metodología .....	22
8.1. Alcance .....	22
8.2. Desarrollo de investigación .....	23
8.3. Identificación .....	23
8.4. Métodos de cuantificación .....	23
8.5. Selección de datos de actividad .....	25
8.6. Carbono Neutralidad .....	26
8.6.1. Reducción .....	26
8.6.2. Compensación o acumulación de CO <sub>2</sub> .....	26
9. Resultados y discusión .....	29
9.1. Cuantificación de emisiones .....	29
9.1.1. Emisiones por estaciones .....	31
9.1.2. Emisiones vehiculares por dirección de la DNBA.....	36
9.2. Medidas de reducción.....	39
9.2.1. Consumo eléctrico .....	41
9.2.2. Consumo de refrigerantes y equipos de climatización .....	42
9.2.3. Consumo de combustible .....	43

9.3.	Medidas de compensación .....	47
9.3.1.	Emisiones fijadas en los cerros Monterrey y Cedral .....	47
9.3.2.	Compensación de emisiones con especies forestales .....	48
10.	Conclusiones .....	52
11.	Recomendaciones.....	54
12.	Bibliografía .....	55
Anexo 1.	Jerarquía de la Gerencia de Telecomunicaciones, ICE .....	59
Anexo 2.	Mapas de las estaciones.....	60
Anexo 3.	Diagrama de procesos.....	61
Anexo 4.	Esquema de metodología de investigación.....	62
Anexo 5.	Información de las plantaciones forestales .....	63
	<i>Cerro Cedral</i> .....	63
	<i>Cerro Monterrey</i> .....	63
Anexo 6.	Mapa de parcelas del Cerro Monterrey .....	64
Anexo 7.	Mapa de parcelas del Cerro Cedral .....	65

## 1. Índice de figuras

Figura 1. Diagrama del efecto invernadero .....	12
Figura 2. Temperaturas del verano en Suiza, 1864 a 2003.....	13
Figura 3. Emisiones mundiales de GEI .....	13
Figura 4. Composición de gases de escape de motores de gasolina. ....	14
Figura 5. Contribución de refrigerantes al efecto invernadero .....	15
Figura 6. Destrucción de la capa de ozono por un CFC .....	16
Figura 7. Porcentaje de toneladas de CO <sub>2</sub> según tipo de emisión.....	30
Figura 8. Porcentaje de toneladas de CO <sub>2</sub> según tipo de combustible que genera la emisión.....	30
Figura 9. Porcentaje de toneladas de CO <sub>2e</sub> según fuente que genera la emisión.....	31
Figura 10. Porcentaje de toneladas de CO <sub>2e</sub> según región.....	33
Figura 11. Toneladas de CO <sub>2</sub> y CO <sub>2e</sub> por estación según tipo de emisión, directa e indirecta.....	34
Figura 12. Toneladas de CO <sub>2e</sub> por estación según tipo de fuente.....	35
Figura 13. Toneladas de CO <sub>2</sub> emitidas por vehículos según Dirección Técnica de la DNBA, 2010.....	37
Figura 14. Toneladas de CO <sub>2e</sub> emitidas por vehículos diesel y gasolina según.....	38
Dirección Técnica de la DNBA, 2010.....	38
Figura 15. Toneladas de CO <sub>2</sub> emitidas por vehículos diesel y gasolina según.....	38
Dirección Técnica de la DNBA, 2010.....	38
Figura 16. Diagrama de seguimiento de PAEE.....	40
Figura 17. Hectáreas requeridas para la fijación de las 40.851 tCO <sub>2</sub> .....	50
Figura 18. Hectáreas requeridas para la fijación de las 40.851 tCO <sub>2</sub> emitidas sin medidas de reducción y 24.517 tCO <sub>2</sub> emitidas con la implementación del PAEE.....	51

## 2. Índice de cuadros

Cuadro 1. SEN: Generación de electricidad por tipo de planta, 2004-2008.....	18
Cuadro 2. Factores de emisión y de calentamiento global, para diferentes tipos de emisiones identificadas en la DNBA. ....	25
Cuadro 3. Características de los registros de consumo según fuente de emisión. ....	25
Cuadro 4. Toneladas de emisiones de CO <sub>2</sub> y CO <sub>2e</sub> de la DNBA según fuente de emisión, 2010.....	29
Cuadro 5. Toneladas de emisiones de CO <sub>2e</sub> en 11 estaciones de la DNBA en el Valle Central, 2010. ....	32
Cuadro 6. Toneladas de CO <sub>2</sub> y CO <sub>2e</sub> emitidas por vehículos de las Direcciones Técnicas de la DNBA, 2010. ....	36
Cuadro 7. Plan de Ahorro de emisiones y energía según proyección de la aplicación de las medidas de reducción recomendadas.....	46
Cuadro 8. Toneladas de emisiones de CO <sub>2e</sub> fijadas por las plantaciones forestales de los Cerros Monterrey y Cedral, 2011. ....	47
Cuadro 9. Fijación de emisiones por hectáreas según especies maderables.....	49



### 3. Resumen

La cuantificación de la Huella de Carbono de 11 estaciones de telecomunicaciones y la flotilla vehicular de la División del Negocio de Banda Ancha (DNBA) del ICE, se obtuvo bajo las metodologías del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC).

La Huella de Carbono fue de 40.863 t de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>) en 2010. Para su determinación se identificaron las actividades que provocaron las emisiones, tales como el consumo eléctrico, combustibles fósiles y gases refrigerantes. El consumo eléctrico mostró ser el mayor emisor, ya que representó el 73% del total de emisiones.

Las medidas para optar por ser *Carbono Neutro* y contrarrestar el aporte de los gases efecto invernadero (GEI) de la DNBA son la implementación de medidas de reducción y compensación. Se propuso un Plan de Ahorro de Emisiones y Energía (PAEE) como medida de reducción. En el PAEE se establece la reducción del 40% de las emisiones totales, que representan 16.345 t CO<sub>2e</sub> menos que se emitirían al ambiente y un ahorro aproximado de ₡435.659.588.

Bajo el supuesto que para el año 2021 la DNBA produce la misma cantidad de GEI anuales, se contabilizaron las emisiones fijadas en dos plantaciones forestales, en los cerros Monterrey y Cedral, y se proyectó las hectáreas necesarias para compensar el resto de las emisiones generadas ese año.

Las plantaciones forestales fijan 291 t CO<sub>2e</sub> en 30 años. Para compensar las restantes 40.572 t CO<sub>2e</sub>/año se recomiendan plantaciones forestales de alguna de las siguientes especies: *Araucaria hunsteini* (39 ha/año), *Tectona grandis* (93 ha/año), regeneración natural (130 ha/año), *Gmelina arborea* (142 ha/año) o *Eucalyptus deglupta* (188 ha/año). Para el caso de implementar el PAEE, la cantidad de hectáreas a reforestar por especie por año se reduce en un 40%.

Los resultados mostraron el valor de tomar acciones ambientales sobre la generación de emisiones en la DNBA. La investigación generó información relevante para proponer medidas correctivas para la emisión de GEI y continuar con el proceso de adaptabilidad del cambio climático.

#### **4. Abstract**

*This study quantifies the carbon footprint of 11 telecommunications stations and the vehicle fleet of the División del Negocio de Banda Ancha (DNBA), ICE. The methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was used for collecting the data.*

*In 2010, the carbon footprint was 40,863 tons of carbon dioxide equivalents (CO<sub>2e</sub>). The main source of CO<sub>2</sub> emissions were electricity, fossil fuels consumption and refrigerants. Electricity consumption was the activity emitting the majority of CO<sub>2e</sub>; representing 73% of total emissions.*

*Mitigation measures to reduce greenhouse gases (GHG) emissions on the DNBA include the implementation of reduction and compensation practices. A Plan of Emissions and Energy Savings (PAEE<sup>1</sup>) was proposed. The actions in this plan aim to reduce emissions by 40%, representing the release of 16,345 tons of CO<sub>2</sub> and savings for up to ₡435,659,588.*

*Partially, the 40,863.28 tCO<sub>2</sub> may be offset by CO<sub>2</sub> fixation in two existing forestall plantations in Monterrey and Cedral hill that belong to the DNBA. These plantations can fix 12.01 tCO<sub>2</sub> in a 30 year period. To offset the remaining 40,572 tCO<sub>2e</sub> through reforestation requires planting 39 ha of Araucaria hunsteini, 94 ha of Tectona grandis, 130 ha of natural regeneration, 142 ha of Gmelina arborea or 189 ha of Eucalyptus deglupta. However, if the PAEE is implemented, the number of hectares to be reforested can be reduced by 40%.*

*The results of this study showed the relevance of taking environmental actions on the activities generating emissions in the DNBA. The data obtained in this research allows proposing corrective measures to reduce GHG emissions, and to advance in the process of climate change adaptability.*

---

<sup>1</sup> PAEE stands for Plan de Ahorro de Emisiones y Energía.

## 5. Introducción

Las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) causadas por las actividades humanas en todos sus ámbitos, son responsables de los cambios que el planeta está experimentando con el fenómeno del Cambio Climático (Solomon, y otros, 2007). Las emisiones de GEI como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidroclorofluorocarburos (HCFC), se deben principalmente al uso de combustibles fósiles para generación eléctrica y vehículos, así como al uso de gases refrigerantes en las unidades de climatización.

La formulación de la Estrategia Nacional para el Cambio Climático es de suma importancia para empresas como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), puesto que permite a la institución conocer el tipo y la cantidad de emisiones que generan sus actividades. Este conocimiento, pretende crear consciencia para la implementación de acciones de reducción y compensación.

El inventario de GEI se realizó con las metodologías recomendadas por el Panel Intergubernamental para Cambio Climático (IPCC), las cuales permitieron cuantificar el aporte de las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>), así como el porcentaje de emisiones que debe compensar la División del Negocio de Banda Ancha (DNBA), del sector de Telecomunicaciones del ICE.

Por medio de la elaboración del inventario GEI el proyecto pretendió identificar el aporte de CO<sub>2e</sub> de los procesos inmersos en once estaciones de telecomunicaciones y en la flotilla vehicular de la DNBA (ICE). Además se propuso acciones para la reducción y compensación de emisiones de CO<sub>2e</sub>.

El uso de estas herramientas brindó la posibilidad de determinar los factores que aportan mayor cantidad de emisiones de GEI. El consumo eléctrico para el caso de las estaciones y el uso de vehículos diesel en la flotilla vehicular.

La presente investigación buscó crear el primer inventario de GEI del sector de Telecomunicaciones en el país y conocer el porcentaje de compensación de las emisiones sin posibilidad de reducción de la DNBA. Dado que se debe trabajar en la reducción y

mitigación de los impactos a la atmósfera para alcanzar la meta país: *“llegar a ser carbono neutro en el 2021”*.

## **6. Objetivos**

### **6.1. General**

- *Conocer el aporte de CO<sub>2e</sub> por medio de la cuantificación de emisiones de GEI en los procesos que se ejecutan en 11 Estaciones de Telecomunicaciones y en la flotilla vehicular de la DNBA, ICE, en el 2011.*

### **6.2. Específicos**

- *Elaborar el inventario de GEI en 11 estaciones de telecomunicaciones y en la flota vehicular de la Gerencia de Telecomunicaciones, ICE.*
- *Proponer medidas de reducción y compensación de emisiones para ser Carbono Neutro al 2021.*

## 7. Marco conceptual

El IPCC definió *el cambio climático* como “el cambio en el estado del clima que puede ser identificado por un cambio en la medida y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persisten en un amplio período, décadas o más”. Los cambios se presentan por fuerzas naturales y antropogénicas, estas últimas con mayor participación en las últimas décadas (Solomon, y otros, 2007).

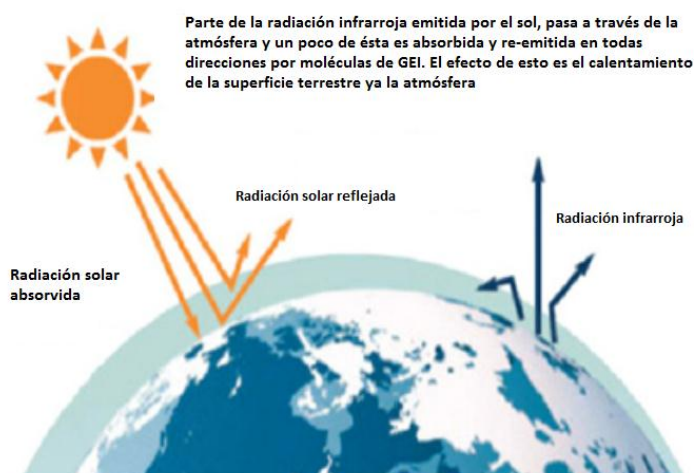
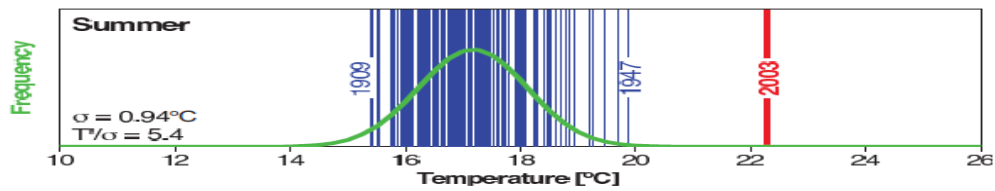


Figura 1. Diagrama del efecto invernadero

Fuente: (Obella, Sf)

El calentamiento climático de origen antropogénico, se ha detectado por diversas observaciones efectuadas en la superficie, en la tropósfera y en los océanos. Estas investigaciones señalan la presencia de temperaturas extremas en partes de la superficie de la Tierra donde antes no ocurrían, lo que ha ido mostrando grandes variaciones en la tendencia de los registros climáticos a nivel mundial. Por ejemplo, la onda de calor que se presentó Europa en el 2003 y el cambio en el patrón latitudinal de precipitaciones de la tierra, así como la variación en la intensidad de éstas (Solomon, y otros, 2007).



**FAQ 9.1, Figure 1.** Summer temperatures in Switzerland from 1864 to 2003 are, on average, about 17°C, as shown by the green curve. During the extremely hot summer of 2003, average temperatures exceeded 22°C, as indicated by the red bar (a vertical line is shown for each year in the 137-year record). The fitted Gaussian distribution is indicated in green. The years 1909, 1947 and 2003 are labelled because they represent extreme years in the record. The values in the lower left corner indicate the standard deviation ( $\sigma$ ) and the 2003 anomaly normalised by the 1864 to 2000 standard deviation ( $T/\sigma$ ). From Schär et al. (2004).

Figura 2. Temperaturas del verano en Suiza, 1864 a 2003.

Fuente: (Solomon, y otros, 2007)

Las causas que llevan a ese cambio climático es el incremento en las concentraciones en la atmósfera de los gases efecto invernadero (GEI) y aerosoles de origen antropogénico y el cambio en la cobertura boscosa. Las emisiones mundiales de GEI por la actividad humana han aumentado en un 70% entre 1970 y el 2004 (IPCC, 2007).

El principal GEI antropogénico es el dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), seguido del metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Estos gases llegan a la atmósfera por el uso de los combustibles fósiles, y en menor proporción por el cambio de uso de la tierra (IPCC, 2007).

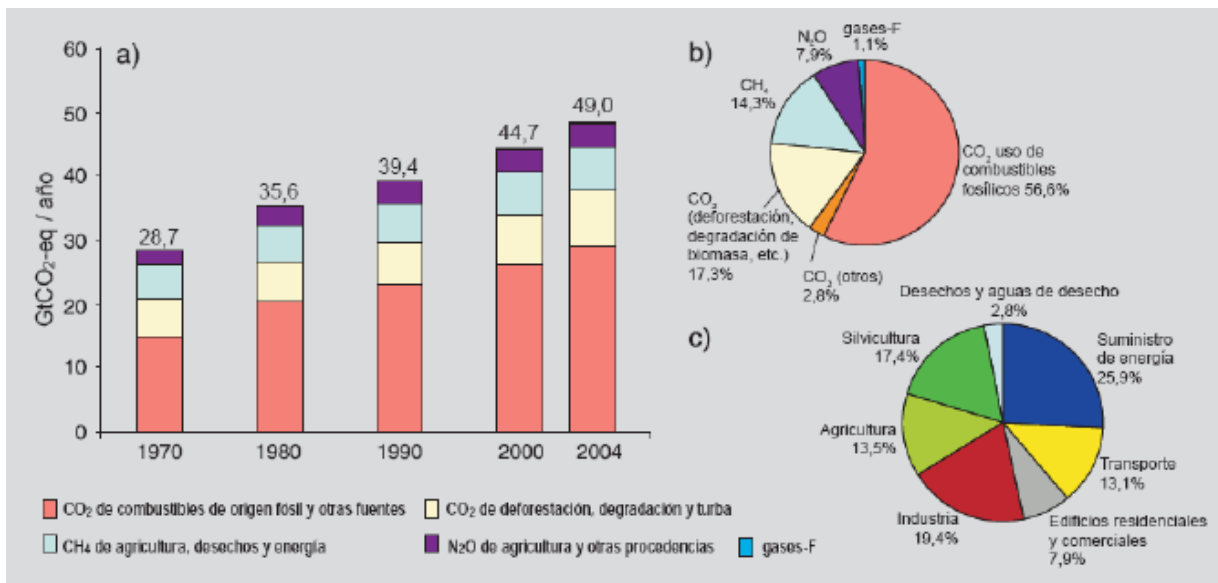
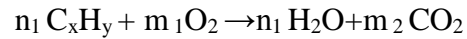


Figura 3. Emisiones mundiales de GEI

Fuente: (IPCC, 2007)

## 7.1 Emisiones por combustión de combustibles fósiles (Diesel y Gasolina)

La quema de combustibles fósiles, tanto diesel como gasolina, produce emisiones de agua (H<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cuando ésta es completa. También, se da una liberación de nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>), que es uno de los gases que contiene el aire de entrada.



Ecuación de la combustión de un hidrocarburo<sup>2</sup>.

Fuente: (Ortmann, 2003)

El proceso de combustión de un hidrocarburo en motores comunes no tiene un rendimiento del 100%, por lo que se genera una combustión incompleta. De ese tipo de combustión se producen también otros gases como: óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), particulado y monóxido de carbono (CO) (Dietsche, 2005).

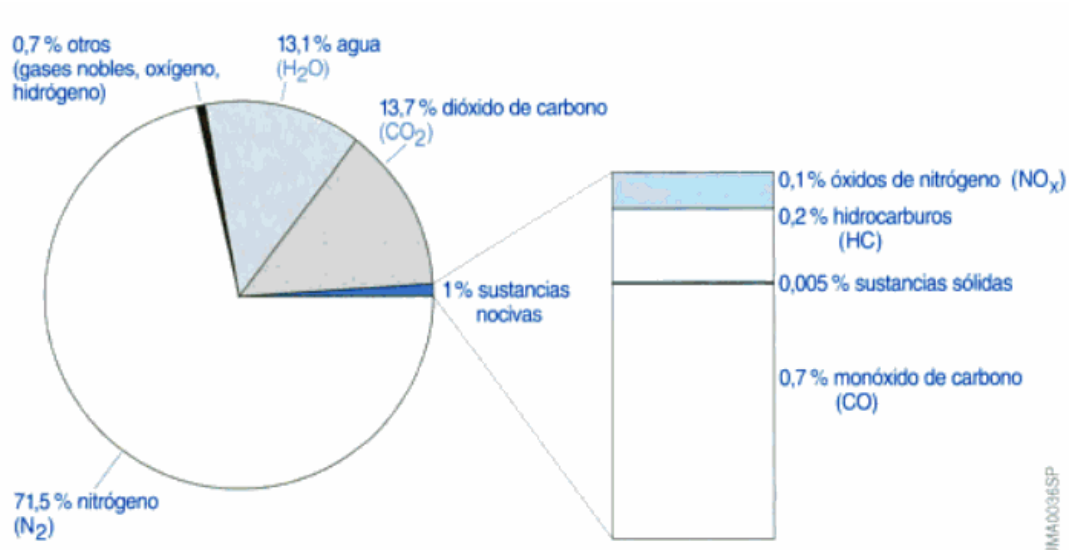


Figura 4. Composición de gases de escape de motores de gasolina.

Fuente: (Ortmann, 2003)

El CO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>, se consideran gases de efecto invernadero. Los óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), sufren reacciones fotoquímicas y forman el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el cual es un gas efecto invernadero y agotador de la capa de ozono (Hernández, 2006).

<sup>2</sup>C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>: ecuación genérica de hidrocarburos

## 7.2 Emisiones de refrigerantes

Otras sustancias que contribuyen al daño en la capa de ozono y al cambio climático son los refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC) y hidrofluorocarbonos (HCFC). Los CFC causan daño a la capa de ozono, aunque algunos HCFC también tienen el mismo efecto, pero en menor proporción. Estos últimos refrigerantes presentan mayor contribución al aumento del efecto invernadero.

El aporte de los equipos de climatización al cambio climático no es sólo por las fugas de los HCFC, sino también por el consumo de energía eléctrica. A nivel mundial, gran parte de la electricidad es producida por plantas térmicas (Obella, Sf).

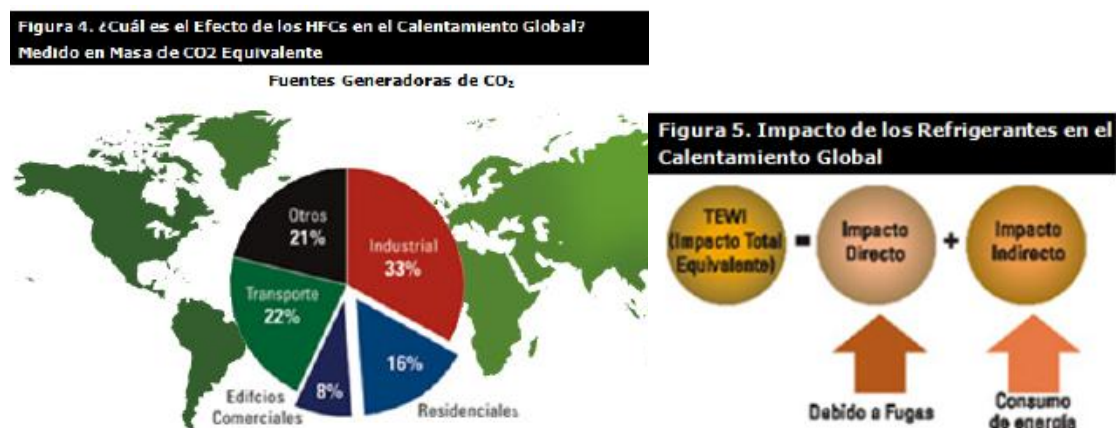


Figura 5. Contribución de refrigerantes al efecto invernadero

Fuente: (Obella, Sf)

Las emisiones de refrigerantes se producen cuando el equipo de aire acondicionado presenta alguna falla que provoca la liberación del gas del sistema de refrigeración, en la tubería o el condensador. Los principales refrigerantes utilizados en los sistemas de climatización en las estaciones son los hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

Los HCFC son utilizados como sustitutos de los clorofluorocarbonos (CFC), pues los HCFC tienen un menor efecto de agotamiento de la capa de ozono (United Nations , 2003). El descubrimiento de esos efectos llevó a muchos países a tomar acciones para la protección de la capa de ozono. Los principales convenios sobre el tema fueron el “Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (1985) y el Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono (1987).



El protocolo de Montreal estableció controles para 96 sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), entre los que se incluyen halocarbonos (CFC y halones), tetracloruro de carbono, el metilcloroformo (1,1,1-tricloroetano), los hidrobromofluorocarbonos (HBFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), el metilbromuro ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ), el bromoclorometano (BCM). Parte de los controles es la eliminación gradual de estas sustancias en los países que firmaron el protocolo, siendo los desarrollados los que deben iniciar con los procesos (PNUMA, 2004).

El agotamiento de la capa de ozono ( $\text{O}_3$ ) ocurre por desequilibrios en las condiciones atmosféricas ideales para el dinámico proceso de formación y destrucción de  $\text{O}_3$ . Proceso que requiere condiciones mínimas de temperatura, presión, condiciones energéticas y concentración de moléculas. Cuando algunas de las variables cambian, el proceso causa que se destruya más  $\text{O}_3$  del que se crea (PNUMA, 2006).

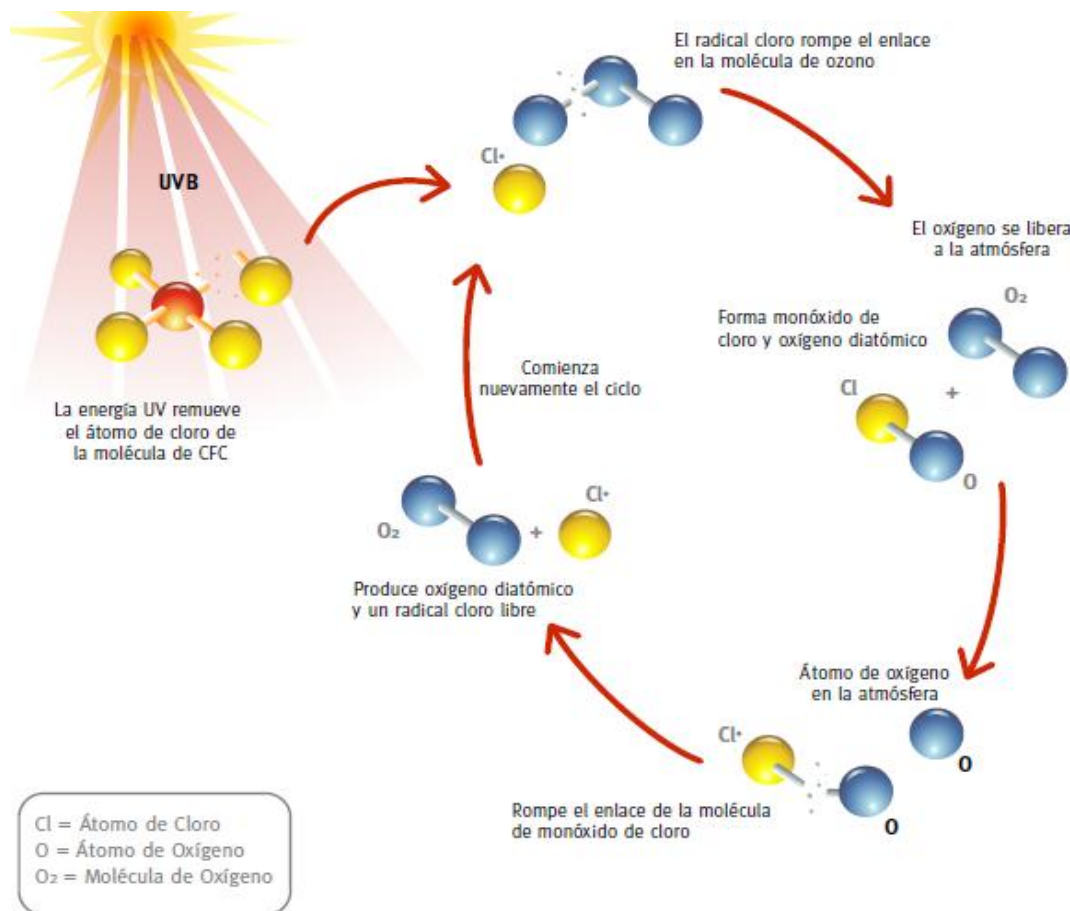


Figura 6. Destrucción de la capa de ozono por un CFC

Fuente: (PNUMA, 2006)

Las sustancias identificadas en el Protocolo de Montreal son de alta persistencia en la atmósfera, de 100 a 400 años. Estas sustancias, dañan la capa de ozono y colaboran con el efecto invernadero, pues al igual que el CO<sub>2</sub>, mantienen y retienen en la atmósfera el calor emitido y reflejado por la tierra (Obella, Sf). Es importante destacar que algunos elementos que producen el agotamiento de la capa de O<sub>3</sub>, no contribuyen al efecto invernadero.

Para cuantificar el efecto invernadero que producen las SAO en la atmósfera se utiliza el potencial global de calentamiento (PGC), término definido por la norma INTE ISO 14064 (2006) como: *“El factor que describe el impacto del efecto de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de dióxido de carbono en un período determinado”*.

Uno de los HCFC más usados mundialmente es el Clorodifluorometano (R-22), pues es usado en múltiples aplicaciones. El R-22 tiene muchas propiedades importantes para la industria, pero ecológicamente es muy dañino, pues contribuye a la destrucción de la capa de ozono, al aumento del calentamiento global y es de gran persistencia en el ambiente (Rothenberger, 2004).

### **7.3. Emisiones por consumo de energía eléctrica**

La energía eléctrica en Costa Rica, es producida por fuentes tanto renovables como no renovables. Para el primer caso, la energía hidroeléctrica aporta el 78% de la electricidad consumida en el país, le sigue la geotérmica con un 14% y la eólica con 2,7%. Dando así un 94,5% de electricidad generada a partir de energías limpias (Montero, 2009).

La energía térmica aporta el restante 5,4%, y a pesar que esta fuente de electricidad no es renovable, es muy importante para dar soporte a las energías renovables. Dado que la producción de energía renovable baja o aumenta según la estación del año (Montero, 2009). La generación aumenta cuando es la época lluviosa y disminuye en la época seca, en especial la energía hidroeléctrica.

Cuadro 1. SEN: Generación de electricidad por tipo de planta, 2004-2008

<b>Tipo Planta</b>	<b>2004 (GWh)</b>	<b>2005 (GWh)</b>	<b>2006 (GWh)</b>	<b>2007 (GWh)</b>	<b>2008 (GWh)</b>	<b>Total Período</b>	
<b>Hidroeléctrica</b>	6.514,5	6.565,4	6.601,2	6.768,6	7.386,1	33,84	78,11
<b>Termoeléctrica</b>	66,5	270,9	533,1	722,3	677,0	2,27	5,24
<b>Geotérmica</b>	1.205,6	1.147,7	1.214,9	1.238,5	1.130,9	5,94	13,71
<b>Eólica</b>	257,5	203,6	273,5	242,1	198,2	1,17	2,71
<b>Biomasa*</b>	17,7	24,6	19,0	17,1	23,6	0,10	0,24
<b>Total</b>	8.061,9	8.212,2	8.641,8	8.987,5	9.415,6	43,31	100

\*Biomasa se refiere a la obtenida por la quema de gases del Relleno Sanitario Río Azul y la quema de bagazo. Fuente: (Montero, 2009)

Los principales combustibles que se utilizan para la generación térmica de electricidad son diesel y bunker. La energía biomásica no es tan relevante por la baja producción que genera.

Las conclusiones obtenidas por Montero demuestran que 7% de la generación térmica del país es responsable del 71% de las emisiones de gas de efecto invernadero del SEN. La generación hidroeléctrica que constituye el 80% de la energía del país y la eólica, solo emiten el 12% de las emisiones (Montero, 2009).

#### **7.4 Medidas ambientales: mitigación de los efectos de los GEI**

Las medidas de control, remediación o mitigación como ha ocurrido a lo largo de la historia del ser humano, no se toman en cuenta hasta que se conocen las consecuencias, muchas veces irremediables. Algunas de las secuelas que se han atribuido a los fenómenos causados en el clima por los GEI son:

- El aumento del nivel del mar durante la segunda mitad del siglo XX.
- Alteración en las pautas eólicas, afectando el recorrido de tempestades extra tropicales (huracanes en regiones de latitud media) y las pautas de temperatura.
- Extremos de temperaturas.
- Intensificación de olas de calor, aumento en áreas de sequías y frecuencia de precipitaciones (IPCC, 2007).

Diferentes científicos y grupos no gubernamentales han dado la voz de alerta sobre las graves consecuencias que esperan a la humanidad si continúan con sus hábitos de consumo. Posteriormente a esas llamadas de atención es que han surgido iniciativas y acuerdos entre países con el fin de mitigar y contrarrestar los daños causados al ambiente.

La iniciativa más relevante sobre el cambio climático es el Protocolo de Kioto, este es un instrumento jurídico internacional para la lucha contra el fenómeno. El Protocolo presenta los compromisos que asumieron países industrializados para la reducción de emisiones de GEI. Estipula que debe darse una reducción del 5% de las emisiones totales con respecto a los niveles de 1990, en el período del 2008 al 2012 (Europa, 2010).

Otro de los aspectos relevantes que se destacan de la firma de este Protocolo, es que la mayoría de países reconoció los problemas que representa el calentamiento global. Este grupo de países acordaron realizar esfuerzos para reducir las emisiones (Arguedas, 2010).

Además se identificaron los sectores problemáticos en las generaciones de GEI y se decidió llevar a cabo medidas preventivas en ellos (Anexo I del Protocolo de Kioto). Se establecieron los principales GEI a considerar en la toma de acciones, los cuales son el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HCFC, perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (IPCC, 2006).

Después de Kioto, diferentes países y organizaciones no gubernamentales crearon diferentes iniciativas para elaborar inventarios que permiten desarrollar estándares de contabilidad y reporte de GEI. De esta manera todos los interesados podían desarrollar las cuantificaciones de acuerdo a un protocolo.

Estos instrumentos estandarizados por el Protocolo buscan facilitar a las empresas o instituciones la preparación de inventarios representativos sobre emisiones reales, mediante enfoque y principios estandarizados. Adicionalmente constituyen una forma de reducir y simplificar los costos de elaboración del inventario. La información recolectada y documentada en estos inventarios permite establecer estrategias para la gestión y reducción de emisiones, y participar en programas obligatorios o voluntarios de GEI (WRI, 2006).

Existen diferentes protocolos, entre ellos los que propone el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2008), World Resources Institute (WRI), World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), y los procedimientos normados por ISO, denominado ISO-14064. El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) es el encargado en Costa Rica de realizar la adaptación de la norma ISO14064 para su uso en el país.

Los inventarios o reportes deben cumplir sin excepción con los principios de relevancia, que implica seleccionar fuentes, sumideros, datos y métodos adecuados para el inventario. Estos deben cubrir totalmente las emisiones y remociones de GEI, y ser transparente, es decir, que la información que se transmita y que se dé a conocer sea veraz. Asimismo, debe poseer buena exactitud (MINAE, 2007).

Después de obtenidos los datos que permiten conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> que las empresas producen, se desarrollan estrategias para la gestión de GEI (ENCC, 2007). Esas estrategias pueden tener como objetivo la reducción y compensación de estos gases, así como generar beneficios económicos. La venta de Bonos de Carbono, la participación en el Registro Voluntario de Emisiones o en el desarrollo de un Mecanismos de Desarrollo Limpio, son ejemplos de estos beneficios (Vallejo, 2008).

La disminución en la generación de emisiones involucra acciones como concienciación del personal, cambios de patrones de producción y de tecnologías. Algunos ejemplos de estas acciones de reducción son: uso de sistemas de aires acondicionados de mayor eficiencia y refrigerantes menos contaminantes (Obella, Sf), uso de energías limpias para el transporte (WBCSD, 2004) y programas de compromiso ambiental.

La compensación de emisiones, involucran el uso de sumideros, que se refiere a especies naturales y sus procesos biológicos en la captación del CO<sub>2</sub> atmosférico. Según la norma ISO, los sumideros se definen como la unidad o proceso físico que remueve GEI de la atmósfera. Uno de los principales sumideros o reservorios son los bosques naturales, plantaciones forestales o agroforestales (INTECO, 2006).

Los sistemas de fijación de carbono o CO<sub>2</sub> en la biomasa vegetal se dan por la fotosíntesis, en la cual la planta toma el carbono para su estructura vegetal y libera el oxígeno. De esa manera mitiga el CO<sub>2</sub> antropogénico. La tasa de fijación varía de acuerdo a las especies vegetales o arbóreas y su crecimiento. La fijación cambia según aspectos característicos como la edad, densidad de la población y la composición florística de la comunidad vegetal (Arguedas, 2010; Russo, 2002; Moraes, 2001).

## **8. Metodología**

### **8.1. Alcance**

La cuantificación y determinación de GEI del presente informe se realizó en la División del Negocio de Banda Ancha (DNBA), de la Gerencia de Telecomunicaciones, del Instituto Costarricense Electricidad (ICE). Durante el proceso se tomaron en cuenta las emisiones producidas por generadores eléctricos, aires acondicionados y consumo eléctrico en 11 Estaciones de telecomunicaciones, escogidas dentro del Plan de Gestión Ambiental (Ver mapa en Anexo 2) y las emisiones provocadas por el uso de vehículos que utiliza la División estudiada.

La DNBA está dividida en 3 direcciones técnicas:

- a) Dirección Técnica de Operación y Mantenimiento (D-TOM)
- b) Dirección Técnica de Desarrollo y Ejecución de Proyectos (D- DEP)
- c) Dirección Técnica de Infraestructura Electromecánica y Civil (D-IEC)

En la DNBA se identificaron las actividades productoras de GEI (Ver Anexo 3), y se clasificaron en dos tipos de emisiones:

1. *Emisiones directas*: se refieren a las actividades bajo total control operacional y que están inmersas en el proceso de forma determinante.
  - 1.1 Combustión de generadores eléctricos: utilización de generadores eléctricos para mantener el suministro de la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos cuando el servicio eléctrico es suspendido.
  - 1.2 Combustión de los vehículos de la DNBA: por el transporte de empleados en los vehículos de la DNBA.
  - 1.3 Emisiones de refrigerantes HCFC-22 (R-22) y HCFC-134a (R-134a): por la utilización de los equipos de climatización.
2. *Emisiones indirectas*: son las que se producen en fuentes en las que no se tiene control operacional. Por ejemplo, el caso del consumo de electricidad, pues la DNBA es responsable de parte de las emisiones por utilizar la corriente eléctrica para alimentar los equipos electrónicos, pero no puede controlar la operación de su generación.

Para la presente investigación se escogió como línea base el año calendario de 2010. Por la disponibilidad de información en ese período.

## **8.2. Desarrollo de investigación**

La presente investigación se desarrolló en dos partes. La primera consistió en un trabajo de campo y la segunda en revisiones bibliográficas y procesamiento de datos (Ver Anexo 4).

Los pasos a seguir en las metodologías diseñadas para el cálculo de Huella de Carbono radican en identificar dónde se originan los gases efecto invernadero GEI, establecer los métodos de cuantificación y proponer las medidas de reducción y compensación que mejor se ajusten a la empresa.

## **8.3. Identificación**

La identificación de fuentes de GEI fijas y móviles se realizó por medio de visitas a los once sitios seleccionados. La información recolectada en las visitas se complementó con la consulta a técnicos electromecánicos presentes en las diferentes estaciones y revisiones de inventarios, con el objetivo de incluir todas las fuentes de GEI.

Se realizó una revisión de inventarios de aires acondicionados (a/a) y generadores eléctricos (GE) del sector de telecomunicaciones, con el fin de corroborar la existencia del equipo en cada uno de los sitios. La revisión se basó en la cuantificación de estos equipos, y del tipo de refrigerante y combustible que utilizan cada uno, según correspondan.

## **8.4. Métodos de cuantificación**

Para la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2e</sub> se utilizó procedimientos recomendados por el IPCC en el documento “Directrices para la elaboración de inventarios nacionales, capítulo dos”. El procedimiento para determinar la producción de CO<sub>2e</sub>, es un método indirecto que permite realizar cuantificaciones cuando no se cuenta con la posibilidad de un muestreo de gases en la fuente emisora de GEI.



Este método se basa en la relación de la actividad<sup>3</sup> de la fuente por el factor de emisión de la sustancia, para calcular el CO<sub>2</sub> generado. Tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$CO_2 = \sum A * Fe^4$$

Dónde:

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

A: Dato de actividad promedio

Fe: Factor de emisión

Para la determinación de otras sustancias identificadas por el IPCC como colaboradoras al calentamiento global (diferentes refrigerantes (HCFC) y el N<sub>2</sub>O), se modifica la fórmula anterior de la siguiente forma:

$$CO_{2e} = \sum A * Fe * PGC^5$$

Dónde:

CO<sub>2e</sub>: Dióxido de Carbono equivalente<sup>6</sup>

A: Dato de actividad promedio

Fe: Factor de emisión

PGC: Potencial global calentamiento

Potencial de Calentamiento Global (PCG o GWP por sus siglas en inglés). El PCG permite conocer a cuanto CO<sub>2</sub> equivale el gas generado, es decir, el CO<sub>2e</sub>. El PCG se utilizó como otro factor en la fórmula.

El total de emisiones de CO<sub>2e</sub> producidas por año, total CO<sub>2e</sub>, corresponde a la suma de las toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> y de CO<sub>2e</sub>, y la ecuación es:

$$Total CO_{2e} = CO_2 + CO_{2e}$$

---

<sup>3</sup>Entiéndase actividad por el consumo de sustancia productora de GEI o acción que favorezca a la formación de estos gases.

<sup>4</sup> (IPCC, 2003)

<sup>5</sup> (IPCC, 2003)

<sup>6</sup>Una molécula de CO<sub>2e</sub> es equivalente a una molécula de CO<sub>2</sub>.

En el cuadro 2 se resume según el tipo de emisión y fuente, la clase de información utilizada para obtener las toneladas de CO<sub>2e</sub> de cada Actividad generadora de GEI.

Cuadro 2. Factores de emisión y de potencial global calentamiento, para diferentes tipos de emisiones identificadas en la DNBA.

Tipo de emisiones	Fuente de emisión	Actividad (consumo/ año)	Factor de emisión	FGC
<b>Directa</b>	Generación eléctrica estacionaria	Diesel (L/año)	0,00268 (tCO <sub>2e</sub> /L) *	1
			2,17x10 <sup>-8</sup> (t N <sub>2</sub> O/ L) *	310
	Vehículos	Diesel (L/año)	0,00268 (tCO <sub>2e</sub> /L) *	1
			2,17x10 <sup>-8</sup> (t N <sub>2</sub> O/ L) *	310
		Gasolina (L/año)	0,00222 (tCO <sub>2e</sub> /L) *	1
			1,959X10 <sup>-8</sup> (t N <sub>2</sub> O/ L) *	310
Fugas de gases refrigerantes	Refrigerantes (kg/año)		1	1600
			1	1300
<b>Indirectas</b>	Consumo eléctrico	kilowatts hora (kWh/año)	0,000919 (tCO <sub>2e</sub> / Kwh) **	1

\* (IPCC, 2006) \*\* UEN de Producción Eléctrica ICE, 2009

Fuente: Elaboración propia.

### 8.5. Selección de datos de actividad

La selección y documentación de datos de consumo se trabajó con base a los registros del año 2010 en los diferentes departamentos que elaboran los controles de contabilidad (Ver cuadro 3).

Cuadro 3. Características de los registros de consumo según fuente de emisión.

Fuente de emisión	Componente de actividad	Adquisición de actividad	Proveedores
<b>Generación eléctrica estacionaria</b>	Diesel	Compra directa	IEC (Operación y mantenimiento)
<b>Vehículos</b>	Diesel / Gasolina	Compra directa	Oficina de transportes
<b>Fugas de gases refrigerantes</b>	Refrigerantes	Servicio subcontratado Compra directa	R y R Heredia
<b>Consumo eléctrico</b>	kilowatts hora	Compra de servicio	ICE
			CNFL
			ESPH

Fuente: Elaboración propia.

## **8.6. Carbono Neutralidad**

La carbono neutralidad implica la igualdad numérica entre las emisiones producidas y las compensadas. Para que las 11 estaciones y la flota vehicular DNBA tuvieran esa condición de neutralidad se realizó:

- Un plan de reducción de emisiones.
- Una propuesta de compensación de CO<sub>2e</sub> utilizando plantaciones forestales.

### **8.6.1. Reducción**

Para reducir las emisiones de GEI generadas por el servicio de telecomunicaciones, se propuso la elaboración del Plan de Ahorro de Emisiones y Energía basado en revisiones bibliográficas.

### **8.6.2. Compensación o acumulación de CO<sub>2</sub>**

La compensación de emisiones se determinó calculando la acumulación de CO<sub>2e</sub> en dos plantaciones forestales del ICE, en los cerros Monterrey y Cedral, por un espacio de 30 años. El resultado de esa estimación se realizó por la metodología descrita en Manual Técnico: “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” (Rügnitz; Chacón; Porro. 2009), con modificaciones (Ortiz, 2011)

El CO<sub>2</sub> acumulado se calculó por medio de la ecuación:

$$CO_2 = B_{AT} * CF * 44/12$$

Donde:

B<sub>AT</sub>: Biomasa viva total (t masa seca).

CF: Fracción de carbono (t C/ha). Valor estándar del IPCC para CF: 0,5.

44/12: Relación masas molares de CO<sub>2e</sub> sobre el carbono (44g/moles de CO<sub>2</sub>/12 g/moles de C).

La biomasa arbórea sobre el suelo por árbol en kilogramos es obtenida por medio de la siguiente la ecuación alométrica genérica<sup>7</sup>:

$$B_{AU} = 0,03445 * (d^2 * h)^{0,94949}$$

Donde:

$B_{AU}$ : Biomasa arriba del suelo (kg)

d: diámetro del árbol (cm)

h: altura del árbol (m)

La biomasa arbórea viva por hectárea en una parcela es calculada sumando el resultado de la biomasa arriba del suelo por árbol de cada parcela, multiplicándolo por uno más la relación de la raíz sobre el tallo, y dividiéndolo por la multiplicación del área de la parcela y el factor de conversión de metros a hectáreas<sup>8</sup>, como se muestra en la ecuación:

$$B_{A \text{ por hectárea}} = \frac{\sum B_{AU} * (1 + R/S)}{A_p * 1000}$$

Donde:

$B_{A \text{ por hectárea}}$ : Biomasa viva el suelo por hectárea (t masa seca/ha).

$B_{AU}$ : Biomasa viva sobre el suelo (t masa seca/parcela).

R/S<sup>9</sup>: Relación raíz/ tallo: 0,2. (Adimensional)

$A_p$ : Área de la parcela (ha).

1000 = Factor de conversión de kilogramos a toneladas (1000kg = 1t).

---

<sup>7</sup>Ecuaciones alométricas para la estimación del peso seco total por árbol arriba del suelo (en kg), para toda especie en un bosque muy húmedo tropical. (Modificado de Ortiz 1989). La ecuación relaciona la biomasa sobre el suelo (kg masa seca/ árbol) con los datos de diámetro a la altura de pecho y altura total, tomados en campo.

<sup>8</sup> 1 hectárea =1000 metros.

<sup>9</sup> (IPCC, 2003).

La biomasa arbórea viva de las plantaciones forestales es estimada calculando el promedio de las parcelas muestreadas, el promedio resultante se multiplica por el área de la plantación forestal.

$$B_{AT} = B_{A \text{ por hectárea}} * A_t$$

Dónde:

$B_{AT}$ : Biomasa arbórea viva total del terreno (t masa seca).

$B_{A \text{ por hectárea}}$ : Biomasa arbórea viva promedio por hectárea (t masa seca/ha).

$A_t$ : Área total de la plantación forestal (ha).

El resultado de la resta de las emisiones esperadas para 2021 menos las toneladas de  $CO_{2e}$  acumuladas en los cerros Monterrey y Cedral, la división de ese resultado entre la relación de fijación de  $CO_2$  por hectárea de diferentes especies forestales permitieron conocer la cantidad de hectáreas necesarias para compensar anualmente. Lo anterior por se ejemplifica en la siguiente ecuación:

$$N^{\circ}ha = \frac{\text{Huella } CO_{2e} 2021 - CO_{2acum. Monterrey y Cedral}}{CO_2 \text{ Fijado} / ha}$$

Dónde:

$N^{\circ} ha$ = número de hectáreas de plantaciones forestales para compensar las emisiones al 2021.

Huella  $CO_{2e}$  2021: emisiones producidas en 2021 (t $CO_{2e}$ ).

$CO_{2acum. Monterrey y Cedral}$ : dióxido de carbono acumulado en las plantaciones de los cerros Monterrey y Cedral (t $CO_2$ ).

$CO_2$ Fijado/ ha: dióxido de carbono fijado por hectárea (t $CO_2$ /ha).

## 9. Resultados y discusión

### 9.1. Cuantificación de emisiones

Los resultados obtenidos de la cuantificación total de CO<sub>2e</sub> se deben a la estimación de la producción de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2e</sub> en el 2010, según el tipo de fuente de emisión en la DNBA, en:

- Consumo de combustible por generadores eléctricos (C.C. GE)
- Consumo de combustible por vehículos (C.C Vehículos)
- Consumo de refrigerante R-22 y R-134a (C.R-22 y C.R-134a)
- Consumo eléctrico (C. eléctrico)

En el cuadro 4 se detalla las toneladas de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2e</sub>, cuantificados a partir de los consumos anuales. Se muestra adicionalmente, el total obtenido de la suma de las toneladas emitidas durante el 2010.

Cuadro 4. Toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2e</sub> de la DNBA según fuente de emisión, 2010.

Fuente de emisión	Actividad (consumo/ año)	F.E		FGC	Emisiones tCO <sub>2</sub>
<b>C.C GE</b>	Diesel (L/año)	0,00268	tCO <sub>2</sub> /L	1	83,98
		2,17x10 <sup>-08</sup>	tN <sub>2</sub> O/L	310	0,21
<b>C.C Vehículos</b>	Diesel (L/año)	0,00268	tCO <sub>2</sub> /L	1	5.090,01
		2,17x10 <sup>-08</sup>	tN <sub>2</sub> O/L	310	12,78
	Gasolina (L/ año)	0,00222	tCO <sub>2</sub> /L	1	190,78
		1,96 x10 <sup>-08</sup>	tN <sub>2</sub> O/L	310	0,52
<b>C.R-22</b>	Refrigerantes	1		1600	4.512,00
<b>C.R-134a</b>	(Kg/ año)	1		1300	1.326,00
<b>C. Eléctrico</b>	kilowatts hora (kWh/año)	0,00092		1	29.647,00
<b>Emisiones Totales por año</b>					
<b>Emisiones Directas</b>					6.690
<b>Indirectas</b>					29.647
<b>CO<sub>2e</sub></b>					4.525
<b>TOTAL CO<sub>2e</sub></b>					40.863

Fuente: elaboración propia del resumen de cuantificación de emisiones a partir de consumos anuales.

Las emisiones indirectas representan el elemento de mayor aporte de emisiones. Estas emisiones representan el 73% de las 40.863t de CO<sub>2</sub> emitidas en el 2010, y provienen de las emisiones del consumo de electricidad de las estaciones (Cuadro 4).

La energía eléctrica representa la materia prima con la que los sistemas de telecomunicaciones transmiten la información. Además, esa energía es utilizada veinticuatro horas al día durante todo el año, por lo que tiene una fuerte relevancia en las estaciones y constituye la mayor contribuyente de emisiones de GEI de la DNBA.

En la figura 7 se observa que las emisiones directas representan un 13% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Éstas son ocasionadas por consumo de combustible de los generadores eléctricos (GE) y la flotilla vehicular. Por otra parte, las emisiones CO<sub>2e</sub> generadas por la producción del N<sub>2</sub>O del consumo de combustible y de gases refrigerantes en el Valle Central, conforman el otro 14%.

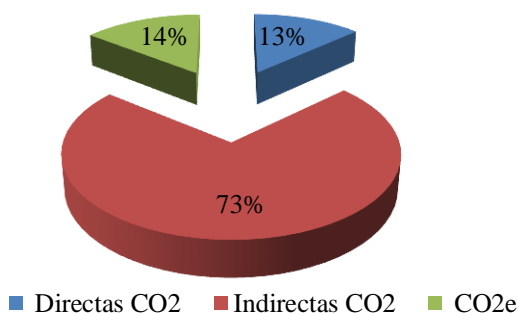


Figura 7. Porcentaje de toneladas de CO<sub>2</sub> según tipo de emisión.

Fuente: Elaboración propia.

El 95% de las emisiones de CO<sub>2</sub> producto del uso de combustibles fósiles corresponden a las provenientes de los vehículos diesel. Los vehículos gasolina son responsables de un 3% y los generadores eléctricos diesel de un 2%, como se observa en la figura 8.

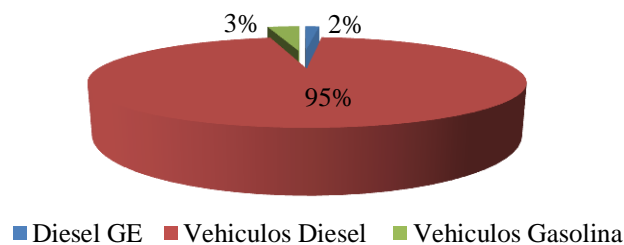


Figura 8. Porcentaje de toneladas de CO<sub>2</sub> según tipo de combustible que genera la emisión.

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de dióxido de carbono equivalente producto de las emisiones de N<sub>2</sub>O por la utilización de vehículos y de R-22 por fugas de gases refrigerantes se detallan en la figura 9. En esa figura se muestra que los mayores porcentajes de emisiones son por el uso de los gases hidroc fluorocarburos para los equipos de climatización. Las fugas de refrigerantes, en especial del gas R-22, son sustancias que demandan mayor atención, pues corresponden al 77% del 14% emisiones de CO<sub>2e</sub>.

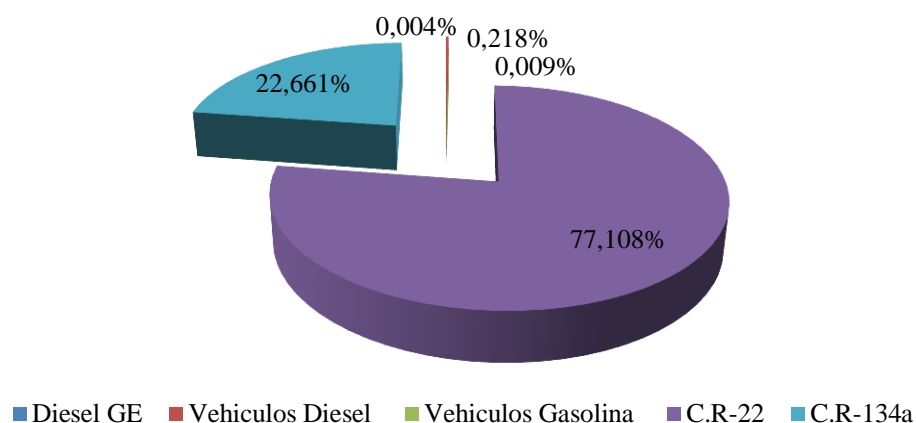


Figura 9. Porcentaje de toneladas de CO<sub>2e</sub> según fuente que genera la emisión.  
Fuente: Elaboración propia.

### 9.1.1. Emisiones por estaciones

En éste apartado se indica el aporte de GEI que brindó cada una de las 11 estaciones en el año de estudio. Por otro lado, en el análisis de estos resultados las emisiones generadas por los vehículos no son consideradas, pues el consumo de combustible de los vehículos se registra en la oficina de transportes según el llenado del tanque de combustible, y no depende de la zona donde se esté se encuentra.

En el cuadro 5 se muestra en detalle el total de emisiones de CO<sub>2e</sub> producidas en las 11 estaciones. Este aporte de las estaciones corresponde al 87% del total de las toneladas de CO<sub>2e</sub>. Se observa además que la central de San Pedro es la estación que da mayores aportes de emisiones, un total de 15.707t de CO<sub>2e</sub> de las 40.863t de CO<sub>2e</sub> que se produce en la DNBA. Caso contrario con la estación de San Antonio de Belén, que sólo aporta 200,16 t de CO<sub>2e</sub>.



Cuadro 5. Toneladas de emisiones de CO<sub>2e</sub> en 11 estaciones de la DNBA en el Valle Central, 2010.

Tipo de emisiones	Fuente de emisión	Actividad (consumo/año)	Heredia	San Antonio, Belén	Alajuela	Del Norte (Tibás)	San Pedro	San José	Bunker	Del Oeste (Pavas)	Del Sur (Paso Ancho)	Sta. Ana	Cartago
Directa	C.C GE	Diesel (L/año)*	3,22	5,84	2,21	3,96	36,90	5,82	0,00	10,85	6,55	3,87	4,75
		Diesel (L/año)**	0,0081	0,0147	0,0055	0,01	0,0032	0,0008	0,0000	0,0272	0,0165	0,0097	0,0119
	C.R-22	Refrigerantes (Kg/año)	384,00	192,00	384,00	288,00	768,00	192,00	1.152,00	576,00	192,00	96,00	288,00
	C.R-134a		0,00	0,00	0,00	0,00	624,00	0,00	468,00	0,00	0,00	234,00	0,00
Indirectas	C. Eléctrico	kilowatts hora (kWh/año)	1.470,68	2,30	1.113,80	2.826,67	14.278,12	1.168,07	3.553,01	2.002,44	2.163,66	649,00	419,27
<b>Total Emisiones de tCO<sub>2e</sub> Directas</b>			387,23	197,86	386,22	291,97	1.428,90	197,82	1.620,00	586,88	198,57	333,88	292,77
<b>TOTAL de tCO<sub>2e</sub> por año</b>			<b>1.857</b>	<b>200</b>	<b>1.500</b>	<b>3.118</b>	<b>15.707</b>	<b>1.365</b>	<b>5.173</b>	<b>2.589</b>	<b>2.362</b>	<b>982</b>	<b>712</b>

\*Emisiones de CO<sub>2</sub> producto de la combustión de diesel.

\*\*Emisiones de CO<sub>2e</sub> (N<sub>2</sub>O) producto de la combustión de diesel.

Fuente: elaboración propia del resumen de cuantificación de emisiones a partir de consumos anuales.

Las emisiones generadas en la estación de San Pedro representan un 44% de las 35.569t de CO<sub>2e</sub> que aportan las estaciones. La estación del Bunker es la siguiente en generación de emisiones con el 14%. Se observó que el porcentaje de emisiones de San Pedro triplica el porcentaje del Bunker. En el otro extremo se encuentran las estaciones de San Antonio de Belén con un 1% de emisiones y la estación de Cartago con un 2% (figura 10).

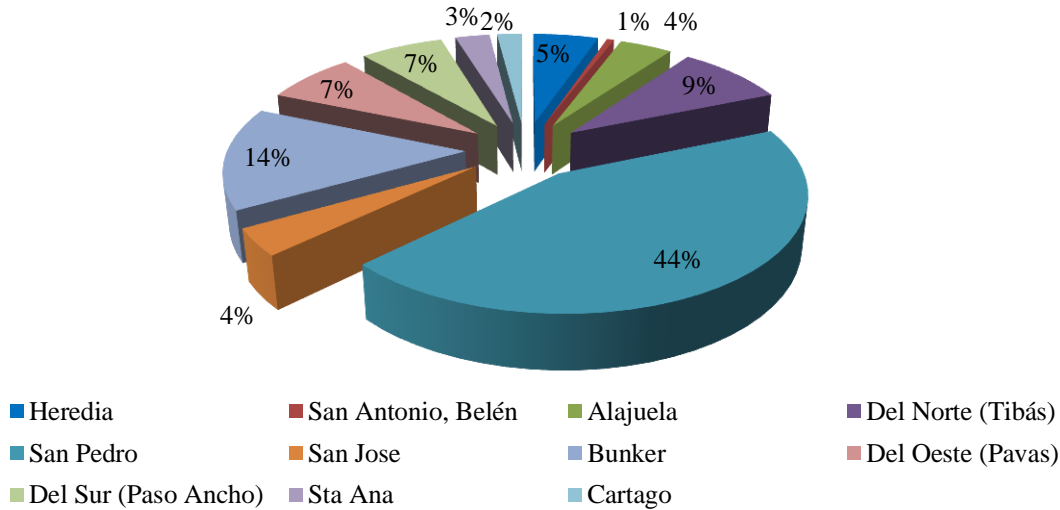


Figura 10. Porcentaje de total de toneladas de CO<sub>2e</sub> según región.  
Fuente: Elaboración propia.

El aporte de las emisiones de cada estación depende del tamaño del edificio, el tamaño de población a la que brinda el servicio y la ubicación geográfica. Las estaciones de San Pedro, el Bunker, San José y Alajuela presentan valores altos en estas características. Adicionalmente, el personal de oficina es permanente. Por lo tanto su consumo eléctrico es elevado, lo que provoca una mayor generación de emisiones de GEI.

En el estudio de emisiones por estaciones se repite lo observado en el apartado anterior, las emisiones indirectas son las que generan la mayor cantidad del total de toneladas de CO<sub>2e</sub>, es decir, las provenientes del consumo eléctrico. Además, la cantidad de emisiones generadas guarda relación con el tamaño del edificio, pues San Pedro y Bunker, son las estaciones que producen mayores emisiones. Por el contrario Belén y Cartago que son de menor tamaño, no generan cantidades tan apreciables como las estaciones más grandes (figura 11).

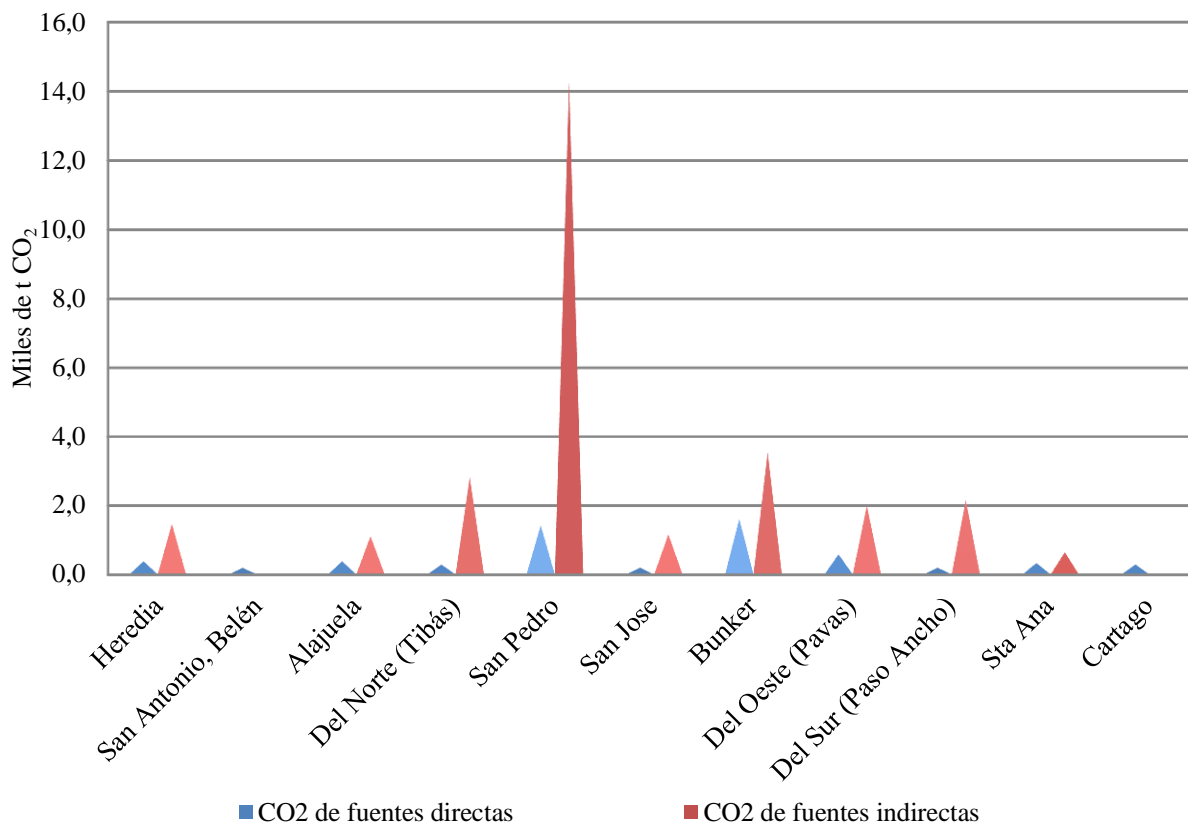


Figura 11. Toneladas de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2e</sub> por estación según tipo de emisión, directa e indirecta.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 se indican las emisiones de cada estación según el tipo de fuente que realiza el aporte. En ese gráfico destaca el consumo eléctrico y el de refrigerantes como las fuentes que producen más emisiones en las diferentes centrales de telecomunicaciones.

Los demás aportes de los diferentes tipos de fuentes, como el CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O por la combustión de diesel en generadores eléctricos, resultan mucho menores que las emisiones de CO<sub>2e</sub> producidas por el uso de la electricidad, debido a la escala de la figura 12 éstas emisiones parecen casi despreciables.

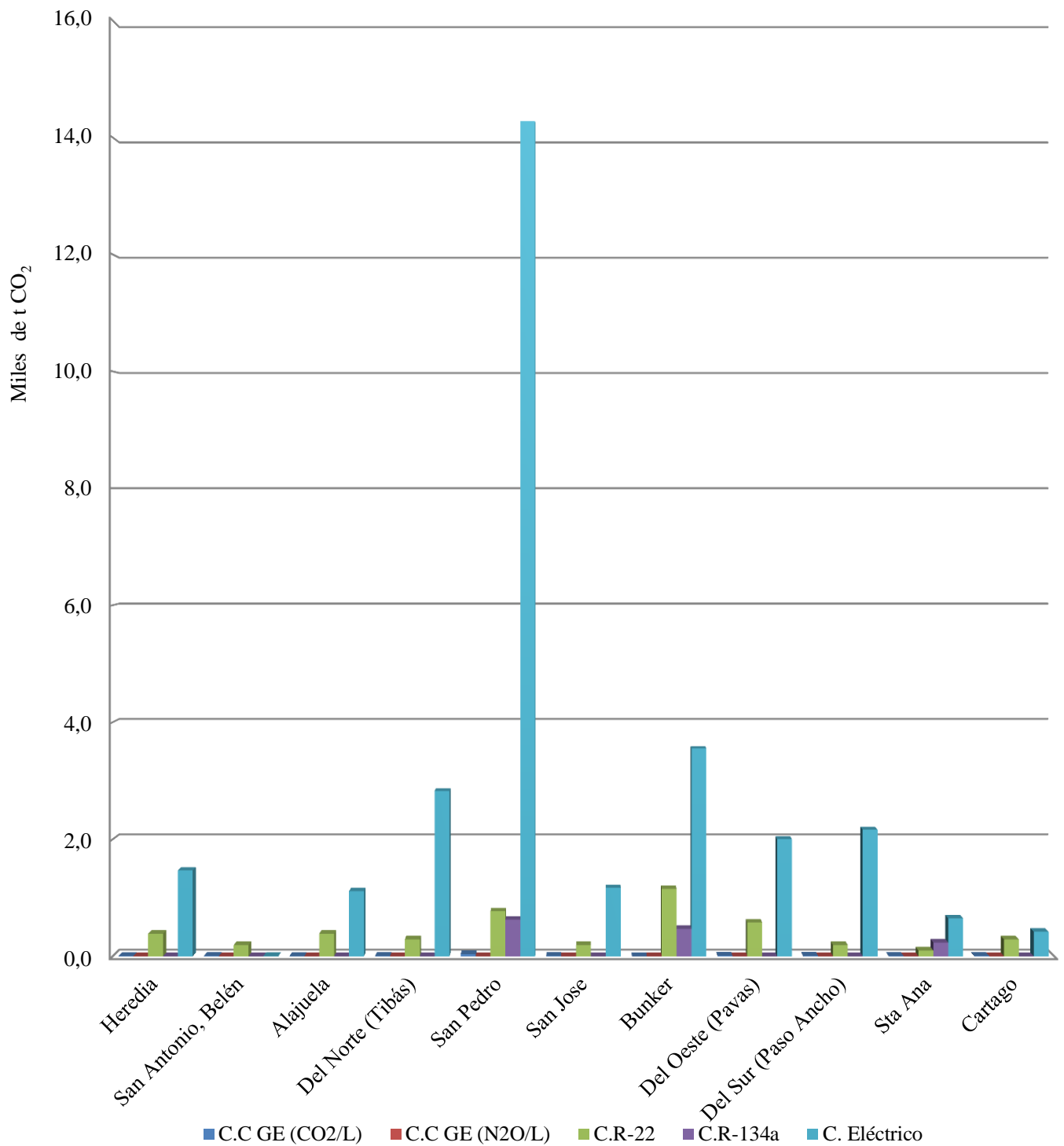


Figura 12. Toneladas de CO<sub>2e</sub> por estación según tipo de fuente.  
Fuente: Elaboración propia.

### 9.1.2. Emisiones vehiculares por dirección de la DNBA

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación de emisiones según el consumo de combustibles fósiles, diesel y gasolina, de los vehículos de cada dirección.

Cuadro 6. Toneladas de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2e</sub> emitidas por vehículos de las Direcciones Técnicas de la DNBA, 2010.

Fuente de emisión	Actividad (consumo/ año)		IEC	NBA	DTOM	DEP	TOTAL
C.C Vehículos	Diesel (L/año)	tCO <sub>2</sub> /L	959,4 26	73,703	1.830,303	2.226,575	5.090,007
		tN <sub>2</sub> O/L	2,408	0,185	4,594	5,589	12,776
	Gasolina (L/ año)	tCO <sub>2</sub> /L	30,91 9	12,267	71,177	76,422	190,784
		tN <sub>2</sub> O/L	0,085	0,034	0,195	0,209	0,522
<b>Total de emisiones por año</b>							
	tCO <sub>2e</sub>		2	0	5	6	13
	tCO <sub>2</sub>		990	85	1.901	2.303	5.281
	<b>TOTAL tCO<sub>2e</sub></b>		<b>992</b>	<b>86</b>	<b>1.906</b>	<b>2.309</b>	<b>5.294</b>

Fuente: elaboración propia del resumen de cuantificación de emisiones a partir de consumos anuales.

El uso de combustibles fósiles en los vehículos representa el 12% de las emisiones directas producidas en la DNBA. La mayor proporción de gases emitidos se debe al uso de vehículos diesel, los que generan el 95% del total de toneladas de CO<sub>2e</sub>.

En la figura 13, la DEP es la responsable del mayor aporte de emisiones, con el 43%, seguido por la DTOM, el 36%, la IEC, el 19%, y en último lugar la NBA, con el 2%. La razón por la que se presenta este comportamiento, se debe a la proporción de vehículos de cada dirección, pues la dirección que mayor porcentaje de emisiones generó, presentó más unidades vehiculares. En la figura 13 se visualiza los porcentajes de emisiones producidas según cada dirección técnica.

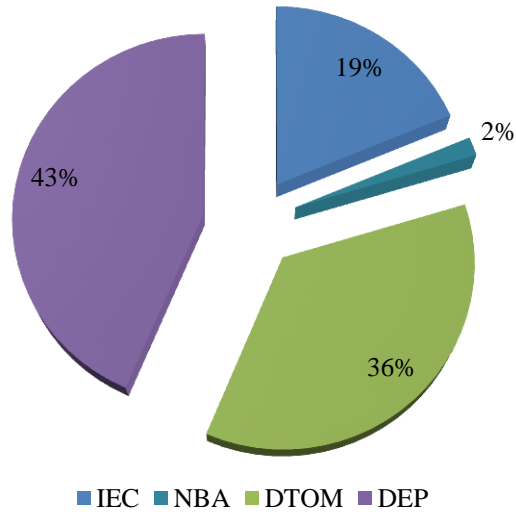


Figura 13. Toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por vehículos según Dirección Técnica de la DNBA, 2010.

Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto importante de resaltar es que según el tipo de combustible del vehículo, se mantiene la tendencia anteriormente descrita en relación a la cantidad de emisiones por vehículos de cada dirección. Los vehículos de combustible diesel y gasolina que presentan mayor cantidad de emisiones son los de la DEP y DTOM.

Se ha mostrado anteriormente el aporte directo de emisiones de CO<sub>2</sub>. Éste es mayor que el de N<sub>2</sub>O representado por el CO<sub>2e</sub> en el cálculo de huella de carbono. Asimismo, en los dos tipos de emisiones se presenta el mismo comportamiento, a mayor cantidad de vehículos mayor cantidad de emisiones generadas. En las figuras 14 y 15 se observa con mayor detalle lo señalado.

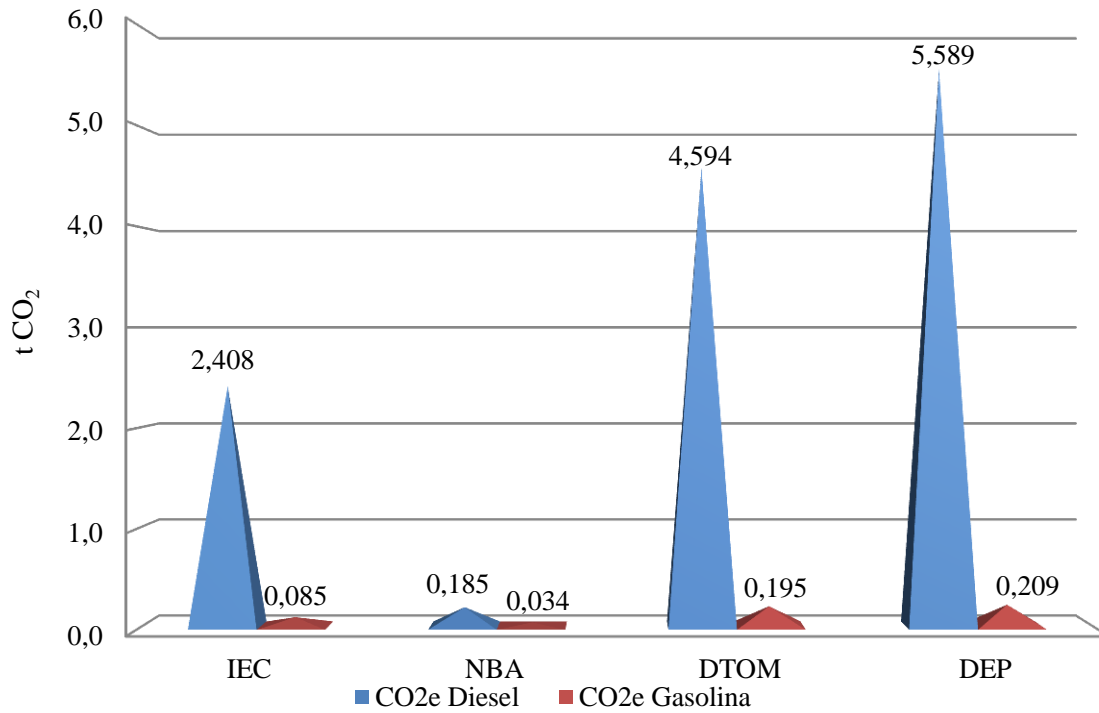


Figura 14. Toneladas de CO<sub>2e</sub> emitidas por vehículos diesel y gasolina según Dirección Técnica de la DNBA, 2010.

Fuente: Elaboración propia.

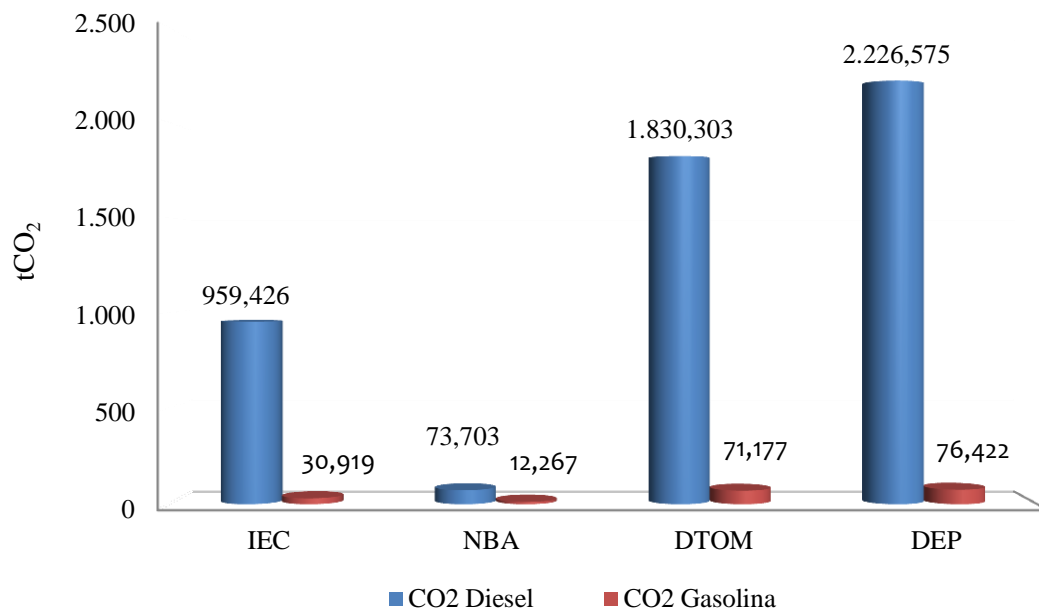


Figura 15. Toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por vehículos diesel y gasolina según Dirección Técnica de la DNBA, 2010.

Fuente: Elaboración propia.

## **9.2. Medidas de reducción**

Las acciones de reducción se sugirieron basadas en uso de equipos de bajo consumo energético, edificios acondicionados para el equipo de climatización, uso de combustibles alternativos y eficientes, así como políticas de mantenimiento preventivos de equipos. Para la propuesta de estas acciones se debe tomar en cuenta el papel que tienen los trabajadores en cada una de las estaciones y en el uso de la flotilla vehicular, para tomar decisiones acertadas sobre las medidas. Las campañas de concienciación del uso eficiente de los recursos son sumamente relevantes para que los programas de reducción de emisiones tengan éxito en la institución y las disposiciones sean apropiadas por los empleados.

Otra de las razones por las que es necesario adoptar estas medidas es porque generan ahorro a la institución, pues se mejora eficiencia del negocio. Situación que puede establecerse como una ventaja competitiva frente a otras empresas en el sector de telecomunicaciones.

En la industria, los aspectos que más consumo de energía producen son la maquinaria (motores y equipos eléctricos) y la iluminación. El optimizar esos procesos permite un adecuado aprovechamiento de los recursos y ahorro económico (CEIM; Dirección General de Industria Energía y Minas, 2006). Según Plana i Turró (2011) las reducciones que se obtienen por acciones de uso eficiente de equipos y uso responsable logran entre un 10 a 30% de ahorro económico en la empresa donde se implantan, siempre que se encuentren respaldadas por un Plan de Ahorro Energético (PAEE) adecuadamente estructurado (Plana i Turró, 2011).

La elaboración del PAEE, implica la determinación de metodologías de evaluación de las reducciones de emisiones y costes del servicio de telecomunicaciones, así como mecanismos de verificación de la eficiencia de estas las acciones de reducción (Plana i Turró, 2011).

Los PAEE generalmente presentan barreras para su ejecución. Por ejemplo, dificultades económicas para la inversión en cambios de tecnologías, resistencia de los trabajadores e incertidumbre respecto al valor real del porcentaje de ahorros a conseguir (Plana i Turró, 2011).

El año que inicia el Inventario de GEI representa la línea base del proceso de implementación del PAEE. Las medidas de reducción de emisiones deben ser reflejo de los aspectos en el servicio de telecomunicaciones que genere más emisiones de GEI.



La puesta en marcha del PAEE inicia con la implementación de las acciones de reducción, después se desarrollan las metodologías de medición de la disminución de emisiones, seguidas por un período de evaluación y seguimiento de la eficacia y viabilidad de las medidas a ejecutadas. Por último lugar, la finalización del PAEE se da con la planificación de cada proceso y la asignación del recurso humano y económico para su desarrollo. La figura 16 resume el desarrollo del PAEE, que implica la definición y cumplimiento de los siguientes pasos:



Figura 16. Diagrama de seguimiento de PAEE.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se expone la propuesta de las medidas de reducción que componen el PAEE para las Estaciones de la DNBA.

### **9.2.1. Consumo eléctrico<sup>10</sup>**

Para el ahorro en el consumo eléctrico se recomienda implementar los siguientes consejos.

#### ***a) Instalaciones eléctricas***

Las instalaciones eléctricas mal diseñadas pueden causar altos consumos en la empresa, por eso se debe revisar que el alambrado, el dimensionamiento de los conductores y las conexiones a tierra sean las adecuadas para las necesidades de la edificación.

Se recomienda que la edificación cuente con las siguientes condiciones:

- Los equipos posean conexión a tierra.
- El cableado posea el tamaño adecuado con el fin de reducir la resistencia que posee según su sección transversal, y que el calibre sea el correcto.
- Verificar que las distribuciones de las cargas sean las adecuadas. Evitar desbalances en el sistema y circulación de corrientes indeseables.
- Cambio a tecnologías más eficientes, como utilización de cables que presenten menor resistencia al paso de la corriente.

#### ***b) Equipos de bajo consumo energético<sup>11</sup>***

A pesar que las estaciones telefónicas son lugares que se encuentran funcionando las 24 horas del día, la implementación de luminarias de bajo consumo y sistemas de climatización eficientes permitirían reducir el consumo de kilowatts hora, incidiendo en la disminución de emisiones. Además, del empleo de equipos eficientes de transmisión de información o datos.

Otro factor a considerar, es desconectar todos los aparatos que cuenten con dispositivos que indican si están recibiendo o no corriente, equipos como monitores, aires acondicionados de oficinas, coffee maker, entre otros, cuando no se estén utilizando.

---

<sup>10</sup> (ICE, 2011)

<sup>11</sup> (ICE, 2011)

Para el caso de las luminarias se recomienda seguir los consejos citados:

- El uso de iluminación fluorescente eficiente y de bajo consumo. Preferiblemente de tipo T-8 o T-5. Igualmente de complementarlos con el uso de balastos electrónicos, difusores y reflectores de alta eficiencia. Sustituir las bombillas incandescentes tradicionales por fluorescentes compactos, en lugares donde se requieran más horas de iluminación constante.
- La iluminación de exteriores debe ser tipo sodio de alta presión o halogenuros metálicos. Pues estos equipos tienen alto nivel de iluminación y una vida útil más prolongada, que refleja también un bajo costo de mantenimiento.
- Uso de controles automáticos de luz, como por ejemplo los de sensores infrarrojos, sónicos, entre otros, en las centrales, con el objetivo de evitar que la iluminación quede encendida por olvido de algún trabajador.
- Para las edificaciones nuevas o remodelaciones se recomienda diseñar oficinas o espacios que las personas ocupen regularmente, con el máximo aprovechamiento de la luz solar.
- Evitar que existan un sólo interruptor para un número importante de luminarias, para evitar iluminar aéreas en donde no se esté trabajando.

### **9.2.2. Consumo de refrigerantes y equipos de climatización<sup>12</sup>**

Los sistemas de climatización son indispensables para las estaciones de telecomunicaciones, pues ayudan que los equipos electrónicos no se recalienten. El uso eficiente de estos equipos y las condiciones adecuadas del edificio, colaboraran para el ahorro en el consumo eléctrico, y ayuda a evitar fugas de gases refrigerantes.

Por lo anterior se recomienda:

- Adquirir e ir cambiando los sistemas viejos por equipos de eficiencia energética y gases refrigerantes más amigables con el ambiente.
- Mantener la temperatura de la estación cercana a los 24°C. Evitar mantener las puertas abiertas para evitar los choques térmicos que desequilibren la temperatura de la sala.

---

<sup>12</sup> (ICE, 2011)

- Procurar que las salas de equipos de las estaciones sean lugares cerrados, donde no existan fugas de aire frío ni entradas de aire caliente.
- Mantener planes de mantenimiento preventivos, como limpiar filtros y conductos, regular la presión del gas, entre otros, con el fin de que el equipo se encuentre en óptimas condiciones la mayor parte del tiempo.
- Reciclar los gases refrigerantes, y darles una disposición adecuada cuando se pueden recuperar de sistemas dañados.
- Procurar apagar los sistemas de climatización en el área de oficinas cuando no haya personal en ellas.

### **9.2.3. Consumo de combustible**

El sector transportes consume el 78% de los derivados de petróleo en el país, seguido por el sector industria con el 14%, y los sectores residencial, comercial y agropecuario con el 2% cada uno (La Nación, 2009 ). Por ese consumo es importante que realicemos acciones que le permitan a la institución consumir menos diesel y gasolina.

Algunas de las medidas que se pueden tomar son:

- Emplear programas de manejo inteligente, en las cuales se le enseñe al conductor a utilizar mejor el vehículo institucional, es decir, viajar con vidrios cerrados cuando maneja a velocidades altas o medias, utilizar rutas alternas e inteligentes de acuerdo a la diligencia que realice, no utilizar el aire acondicionado permanentemente, en especial en rutas con desniveles considerables (Ibarra, 2010).
- Programar mantenimientos preventivos para afinar motores tanto para vehículos como para generadores eléctricos, balanceo de llantas y analizar los gases de escape, si se cumple con lo establecido por ley.
- Programas de sensibilización para el uso moderado de vehículos. Como por ejemplo establecer rutas inteligentes y programar viajes para realizar diferentes diligencias en un solo viaje (Ibarra, 2010).
- Analizar la posibilidad de utilizar biocombustibles o mezclas en vehículos, con el fin de disminuir el particulado y las emisiones de los vehículos y generadores eléctricos (Bonilla, 2008).

- Cambiar paulatinamente y en consideración a los presupuestos por equipos más eficientes, híbridos o en el mejor de los casos eco-amigables.
- El uso de Tecnologías de la Información y Comunicación para reuniones entre funcionarios de sedes diferentes o la intervención de los equipos eléctricos de las centrales a través de la Web, son acciones que permitiría reducir el consumo de combustible de los empleados en el traslado (Garrigues Medio Ambiente, 2011).

Con la puesta en marcha de las acciones anteriormente recomendadas, siguiendo una línea conservadora de estimaciones, se proyecta obtener reducciones de un 40% en las emisiones de CO<sub>2e</sub> y en ahorros económicos. La veracidad de la estimación corresponderá a la eficacia, pertinencia de aplicación, acogida y gestión del PAEE.

El PAEE propuesto (Ver cuadro 7) muestra un aproximado de la cantidad de emisiones que se pueden dejar de emitir si se implementan las acciones en tres tipos de actividades que generan emisiones en la gestión del servicio de telecomunicaciones:

- Consumo eléctrico.
- Consumo de refrigerantes.
- Consumo de combustibles.

La propuesta del cuadro 7 presentó la aproximación del porcentaje de reducción de emisiones basado en la literatura. La estimación del ahorro económico representa el monto en colones que se dejaría de gastar con las mejoras sugeridas. El PAEE se desarrolló con los precios de kilowatts hora, gasolina, diesel y refrigerantes (R-22 y R-134a) consultados en el 2011.

Con el supuesto de obtener una reducción del 40% de las emisiones totales, se reducirían 16.345 tCO<sub>2e</sub> de las 40.863 tCO<sub>2e</sub> emitidas por año<sup>13</sup>. En términos económicos esta proyección medida implicaría un ahorro de ₡435.659.588 a la Institución.

El capital ahorrado podría permitir al ICE invertir en el cambio de tecnologías poco amigables con el ambiente por otras compatibles, de esta forma mejorar la eficiencia del proceso de telecomunicaciones y reducir emisiones. Posterior a la evaluación de factibilidad de las medidas de reducción propuestas (ver cuadro 7).

---

<sup>13</sup> Se toma como emisiones anuales de CO<sub>2e</sub> las toneladas CO<sub>2e</sub> generadas en el año 2010.

Las reducciones deben desarrollarse el año siguiente de concluir el inventario de emisiones de GEI. Posteriormente, iniciará un proceso de medición y verificación de las reducciones, seguido por la instauración del nuevo año base. El Plan puede ejecutarse por estaciones o como un todo, pero la primera alternativa, medición por estación, permitiría comparar el desempeño de cada Central de Telecomunicaciones. Seguidamente se plantea el PAEE en el cuadro 7.

Cuadro 7. Plan de Ahorro de emisiones y energía según proyección de la aplicación de las medidas de reducción recomendadas.

Tipo de Consumo		Medida de reducción	Ahorro esperado	tCO2 reducidas	Consumo 2010	Unidades	Ahorro esperado	Beneficio unitario	Ahorro esperado
<b>Eléctrico</b>	Instalaciones eléctricas	Conexión a tierra.							
		El cableado con tamaño adecuado.							
		Distribuciones de las cargas sean las adecuadas. Evitar desbalances en el sistema y circulación de corrientes indeseables.							
		Cambio a tecnologías más eficientes.							
	Equipos de bajo consumo energético	El uso de iluminación fluorescente eficiente y de bajo consumo.			32.260.070,61	Kwh	20%	64€/ kWh <sup>14</sup>	€412.928.903,81
		La iluminación de exteriores de sodio de alta presión o halogenuros metálicos.							
		Automatización del sistema de iluminación.							
		El máximo aprovechamiento de la luz solar en oficinas.							
		Interruptores independientes para sectores de las Centrales.							
<b>Refrigerantes y equipos de climatización</b>		Cambio a tecnologías más eficientes.							
		Temperatura de la estación cercana a los 24°C.			117.247,11	Kg	5%	2977,94€/L R-22 <sup>15</sup>	€17.457.742,94
		Salas y cuartos ambientados al trabajo de equipos de climatización.	40%	16.345,31					
		Mantener planes de mantenimiento preventivo.							
		Reciclaje y disposición adecuada de gases refrigerantes.			1.020,00	kg	5%	6580,88€/L R-134a <sup>16</sup>	€335.624,88
		Apagado de equipos cuando no se utilizan.							
<b>Combustible</b>	Vehículos	Emplear programas de manejo inteligente.							
		Programar mantenimientos preventivos.							
		Programas de sensibilización para el uso moderado de vehículos.			85.938,72	L	5%	483,31 €/L Gasolina Plus <sup>17</sup>	€41.535,04
		Utilización de combustibles alternativos.							
			Cambio a tecnologías más eficientes.						
			El uso de Tecnologías de la Información y Comunicación para ahorro energético.						
	Generadores eléctricos	Programar mantenimientos preventivos.			1.930.591,64	L	5%	517,53 €/L Diesel <sub>50</sub> <sup>18</sup>	€4.895.781,54
		Utilización de combustibles alternativos.							
		Cambio a tecnologías más eficientes.							
<b>TOTAL</b>					<b>40%</b>	<b>16.345</b>	<b>40%</b>		<b>€435.659.588</b>

Fuente: elaboración propia.

<sup>14</sup> Basado en la tarifa TG- General. (Grupo ICE, 2011)

<sup>15</sup> Datos proporcionados por la empresa Refrigeración Industrial Beirute S.A.

<sup>15</sup> Datos proporcionados por la empresa Refrigeración Industrial Beirute S.A.

<sup>16</sup> Basado en los precios reportados por RECOPE. (RECOPE, 2011)

<sup>17</sup> Basado en los precios reportados por RECOPE. (RECOPE, 2011)

### 9.3. Medidas de compensación

La DNBA debe compensar 40.863tCO<sub>2e</sub> por año para ser *Carbono Neutro* en el 2021. Se asumió que en los años posteriores al 2010 la institución generará la misma tasa de emisiones por año calculada en el primer inventario. Para la compensación de esas emisiones se propuso contabilizar las acciones realizadas por el Comité de Aseguramiento de la Gestión Ambiental y recomendarla realización de futuras plantaciones forestales con especies con mejores tasas de acumulación de CO<sub>2e</sub>.

#### 9.3.1. Emisiones fijadas en los cerros Monterrey y Cedral

El proceso de Aseguramiento de la Gestión empresarial tema medioambiente de la DNBA inició con las medidas de compensación de emisiones con dos campañas de reforestación en San Carlos de Alajuela, en los Cerros Monterrey y Cedral, en los años 2008 y 2010.

La estimación del CO<sub>2e</sub> acumulado en las plantaciones forestales de los Cerros Monterrey y Cedral, se realizó aplicando principios conservadores, con el objetivo de no sobre estimar la acumulación de gas efecto invernadero. En el cuadro 8 se muestra las relaciones de biomasa obtenidas del muestreo que permitieron estimar la acumulación de CO<sub>2e</sub> en los terrenos muestreados.

Cuadro 8. Toneladas de emisiones de CO<sub>2e</sub> fijadas por las plantaciones forestales de los Cerros Monterrey y Cedral, 2011.

Cerro	Parcela	Biomasa promedio/ parcela (kg/parcela)	Biomasa viva/ parcela (t/parcela)	Biomasa total capturada/ hectárea (t/ha)	Carbono/ hectárea (t/ha)	CO <sub>2</sub> / hectárea (t/ha)
Monterrey	1	20,4	0,5	5,9	2,9	10,8
	2	141,8	3,4			
	3	97,6	2,3			
Cedral	1	6,2	0,1	3,3	1,7	6,1
	2	35,4	0,8			
	3	235,3	5,6			
<b>TOTAL</b>						<b>16,9</b>

Fuente: elaboración propia con la información recolectada en el trabajo de campo del 2 de setiembre de 2011.



El Incremento Medio Anual de CO<sub>2</sub> (IMACO<sub>2</sub>)<sup>19</sup> de cada plantación muestra que los árboles del Cerro Monterrey fijan 3,6 t por año de CO<sub>2</sub>, mientras que el Cerro Cedral en su primer año 6,1t por año de CO<sub>2</sub>. En total, los dos terrenos fijaron 9,7t por año de CO<sub>2</sub>.

El IMACO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>/año) permitió proyectar la fijación de los árboles de los sitios estudiados. La proyección de acumulación de CO<sub>2</sub> se realizó para un período de 30 años, pues es el tiempo que se estima que las plantaciones lleguen a su madurez, y por ende a su máximo de acumulación de CO<sub>2</sub>.

La proyección de las toneladas de CO<sub>2</sub> acumuladas por año en el período comprendido entre 2011 y 2041 en los dos sitios, muestra que sólo se fijarán 291,5t del gas durante ese período. Esas toneladas fijadas son 140,2 veces menores que las toneladas de CO<sub>2e</sub> emitidas por las 11 Estaciones de telecomunicaciones y la flotilla vehicular de DNBA, es decir, que en los Cerros Monterrey y Cedral sólo se acumulará el 0,71% de los GEI emitidos a la atmósfera en ese año.

### **9.3.2. Compensación de emisiones por medio de reforestación**

Los resultados de la sección anterior permiten inferir que se requiere implementar más acciones de compensación. Una de las cuales podría ser reforestación con especies forestales con mayores potenciales de crecimiento, y por ende, mayor acumulación de CO<sub>2</sub>. Algunas de esas especies de rápido crecimiento son la melina, teca, klinki, eucaliptos, entre otros. La escogencia de las especies forestales debe ir enfocada a las características del sitio, pues entre mayor capacidad de adaptación posea la especie, mejor crecimiento y acumulación de toneladas de CO<sub>2</sub>.

La selección de la especie forestal también debe considerar el cumplimiento de los objetivos de la reforestación y de valores adicionales como la obtención de beneficios económicos, por ello se debe analizar la posibilidad de mercado de la madera.

---

<sup>19</sup> IMACO<sub>2</sub>= toneladas de CO<sub>2</sub> que fija una plantación forestal por año.

Cuadro 9. Fijación de emisiones por hectáreas según especies forestales recomendadas para la reforestación.

Especie forestal	Duración del proyecto(años)	tCO <sub>2</sub> fijado/ha
<i>Tectona grandis</i> (Teca)	20	435
<i>Gmelina arborea</i> (Melina)	12	286
<i>Araucaria hunsteini</i> (Klinki)	40	1048
<i>Eucalyptus deglupta</i>	20	215
<b>Regeneración Natural</b>	20	313

Fuente: (Ortiz, 2011)

Las emisiones de GEI a compensar para que la DNBA sea C-Neutral en el 2021 corresponden a la emisión anual de las 40.572 t CO<sub>2e</sub><sup>20</sup>, valor que toma en cuenta la acumulación del CO<sub>2e</sub> en las plantaciones de los Cerros por un periodo de 30 años (2011-2041). La estimación se realizó asumiendo que en ese lapso no se implementó ningún PAEE que pudiera reducir las emisiones enviadas a la atmósfera.

Según estimaciones de fijación de dióxido de carbono reportados (Ortiz, 2011), la especie *Araucaria hunsteini* (Klinki) requiere menor número de hectárea que las demás especies para acumular las emisiones anuales de CO<sub>2e</sub>, sólo 39 ha. La segunda especie con mayor capacidad de fijación sería *Tectona grandis* (Teca) que ocuparía 93 ha. La regeneración natural presenta un requerimiento intermedio de 130 ha. En antepenúltimo lugar se encuentra la *Gmelina arborea* (Melina) y el *Eucalyptus deglupta*, que requieren 142 ha y 189 ha cada una (ver figura 17) (Ortiz, 2011).

La valoración de la escogencia de especie para compensar las emisiones debe ser analizada desde perspectivas de factibilidad económica y espacial, pues el número de hectáreas citadas anteriormente por especie forestal sólo permiten compensar las emisiones de un año. Para mantener la Carbono Neutralidad en los proyectos de compensación de emisiones de GEI, se debe multiplicar el número de hectáreas por los años que se desee mantener esa condición. Además, se recomienda valorar los tiempos de duración de los proyectos forestales de fijación de CO<sub>2e</sub>, pues especies como *Araucaria hunsteini* requiere menos hectáreas para la compensación de las emisiones anuales, pero las plantaciones forestales deben mantenerse por 40 años para alcanzar esa tasa de fijación.

<sup>20</sup> Se asumió que las emisiones anuales se mantuvieron constantes, 40.863 tCO<sub>2e</sub> por año.

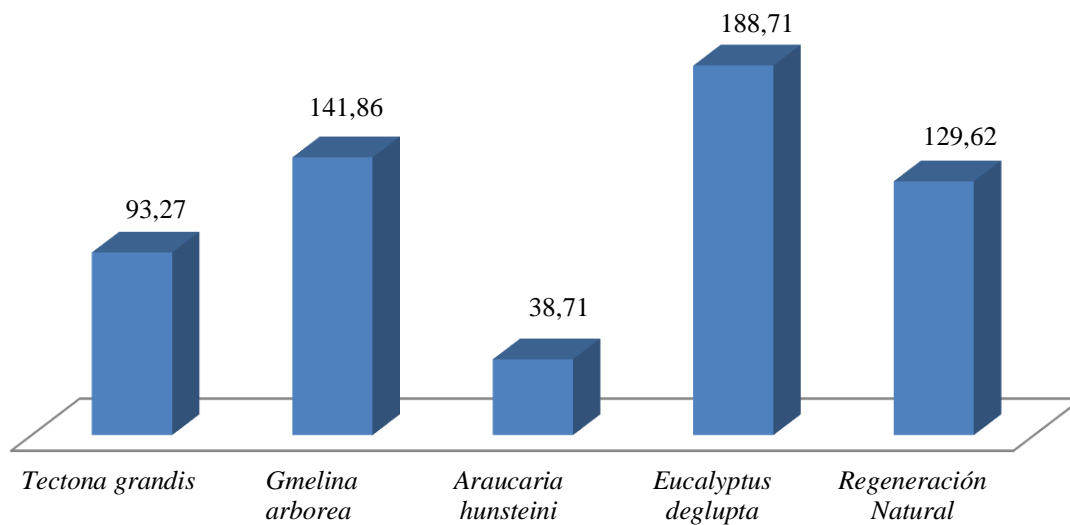


Figura 17. Hectáreas requeridas para la fijación de las 40.572 tCO<sub>2</sub>.

Fuente: Elaboración propia.

Con la implementación del PAEE se reduciría la cantidad de emisiones y como consecuencia, la cantidad de hectáreas necesarias para fijar las emisiones. La estimación de esa nueva cantidad de hectáreas y emisiones, va a depender de la buena gestión del PAEE y de otras situaciones como:

- Análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental.
- La aplicación de las medidas de reducción.
- El capital para implementar las acciones.
- El cambio de tecnología.
- La efectividad de los programas de concienciación.
- La actualización del cálculo de la Huella de Carbono con las nuevas condiciones.

El número de hectáreas por año necesarias para la C-Neutralidad de la DNBA podrían ser reducidas si hipotéticamente se implementó el PAEE propuesto y se logró la reducción del 40% de las emisiones calculadas en 2010. La reducción permitiría que las toneladas de emisiones por año pasen de 40.572 tCO<sub>2e</sub> a 24.333 tCO<sub>2e</sub>. En la figura 18 se muestra la comparación del espacio necesario sin medidas de reducción y el requerido con la implementación de las medidas.

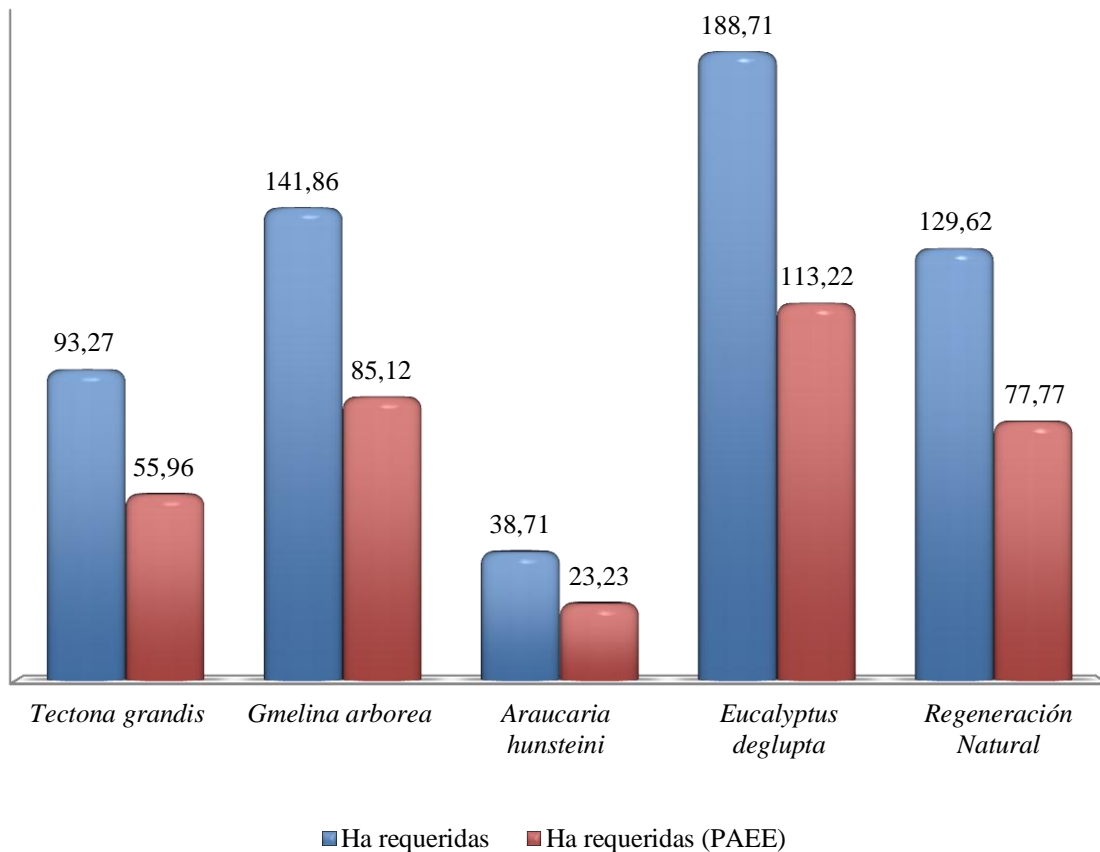


Figura 18. Hectáreas requeridas para la fijación de las 40.572 tCO<sub>2</sub> emitidas sin medidas de reducción y 24.333 t CO<sub>2</sub> emitidas con la implementación del PAEE.

Fuente: Elaboración propia.

Los números presentados en el gráfico anterior son alentadores para la implementación de medidas, como el PAEE, que permitan hacer las acciones de la DNBA menos impactantes al ambiente. Dependerá del análisis serio y concienzudo de los beneficios y costos, así como del compromiso ambiental que la institución se establezca para lograr o no el objetivo.

## 10. Conclusiones

De la investigación se obtienen las siguientes conclusiones:

- Para la elaboración de inventarios confiables se requiere de información precisa y actualizada, almacenada en bases de datos con fácil acceso para los trabajadores del ICE interesados en su creación.
- La importancia de la gestión de inventarios es determinar las aéreas que requieren mayor apoyo para la transmisión y documentación de la información. De esta forma, fortalecer esos puntos débiles, como es el caso del consumo de refrigerantes y de combustible para generadores eléctricos en las estaciones de interés.
- La elaboración de inventarios de GEI requiere de trabajo en conjunto y compromiso de las partes interesadas, pues así se puede mejorar la investigación de la información y realizar controles cruzados en los cálculos que reduzcan los riesgos de sesgo de información o errores.
- El principal aporte de emisiones de CO<sub>2e</sub> de la DNBA se debe a las emisiones indirectas ocasionadas por el consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica. Representa el 73% de las 40.863 toneladas de CO<sub>2e</sub> emitidas para el período 2010.
- Del 13% de las emisiones directas de CO<sub>2e</sub>, el 95% corresponde al consumo de combustible diesel de los vehículos. Por lo que representan el mayor aporte de ese tipo de emisiones.
- Los principales estudios para la aplicación de medidas de reducción se deben realizar en el consumo eléctrico de las estaciones, pues es la fuente de mayor emisión en a la DNBA.
- Las fugas del gas R-22 representa el mayor aporte de las emisiones de CO<sub>2e</sub>, pues corresponde al 77% del 5% emisiones de CO<sub>2e</sub>.
- El comparar las emisiones y las fuentes de GEI de cada estación, permite conocer la responsable de provocar el mayor aporte de emisiones de GEI, y por ende determinar hacia donde se puede enfocar las acciones de reducción.
- Según el análisis por estaciones, de las 40.863 toneladas de CO<sub>2e</sub> por año emitidas al ambiente por las estaciones en el 2010, la estación de San Pedro brindó a la atmósfera el 87% de las emisiones y la estación del San Antonio de Belén solamente el 1%.

- Del total de emisiones provenientes de la quema de combustibles por los vehículos, la DEP y DTOM son las encargadas del 43% y 36% de las 5.294 toneladas CO<sub>2e</sub>. Lo cual se debe a que ambas direcciones poseen la mayor cantidad de unidades de transporte.
- Las acciones de reducción en las estaciones o en los tipos de fuentes de GEI deben ser estudiadas desde los puntos de factibilidad económica, técnica y ambiental, ya que de esta forma se puede implementar opciones reales a las necesidades de la institución.
- Suponiendo que se lograra una reducción del 40% de las emisiones totales:
  - Se dejarían de emitir al ambiente 16.345t CO<sub>2</sub> de las 40.863 tCO<sub>2</sub> emitidas en el 2010.
  - Se podría generar un ahorro aproximado de ₡435.659.588 en la Institución.
- Las plantaciones de los Cerros Monterrey y Cedral fijarán 291 toneladas de CO<sub>2</sub> en el período comprendido entre 2011 y 2041, de las 40.863tCO<sub>2</sub> emitidas en año, 2021.
- Para optar por la carbono neutralidad en 2021 se deben desarrollar plantaciones forestales con especies con mayores porcentajes de fijación de CO<sub>2</sub> que las sembradas en los Cerros Monterrey y Cedral.
  - Las especies *Araucaria hunsteini* (Klinki) y *Tectona grandis* (Teca) requieren menor área para acumular esas emisiones anuales, tan sólo 38,71 ha la primera y 93,27 ha la segunda.
  - La regeneración natural mostró ser una opción de compensación valorable pues en condiciones adecuadas requeriría de 129,62 ha para compensar las emisiones.
  - La escogencia de la especie a utilizar para la compensación de emisiones debe estar en función de las características de adaptación de la especie a las condiciones específicas del terreno disponible.
- Para un año adicional de la neutralidad de carbono se requiere la elaboración de otro proyecto forestal de la misma área, y así sucesivamente con los años que se desee mantener esa condición.
- Si se lograran reducir 16.345 tCO<sub>2e</sub> de las emisiones del 2021 por la aplicación de las medidas de reducción propuestas en un PAEE, la cantidad de hectáreas a reforestar serían un 40% menor a la cantidad de hectáreas necesaria para compensar las emisiones sin la implementación del PAEE.

## 11. Recomendaciones

Para la DNBA:

- Mejorar los sistemas de almacenamiento y transmisión de información, pues es necesaria la creación de bases de datos que permitan recopilar los consumos de combustibles para sus diferentes usos, refrigerantes y el consumo eléctrico. Con el fin de realizar inventarios más acertados al transcurrir los años, y así evaluar las medidas de reducción.
- Mejorar los sistemas de información de consumos y continuar con el proceso de cuantificación e integrar más estaciones al alcance del inventario, para que la institución pueda alcanzar la Carbono Neutralidad en 2021.
- Implementar programas de concienciación y responsabilidad en el proceso de adaptabilidad con el Cambio Climático, para que los trabajadores de la institución y los subcontratados, realicen sus labores minimizando el impacto de los GEI al ambiente.
- Implementar medidas de compensación de las emisiones de GEI con la ejecución del Programa de Ahorro de Emisiones y Energía como las reforestaciones forestales.

Para universidades o investigadores en general:

- Dirigir proyectos de investigación hacia la determinación de factores de emisión de GEI en Costa Rica tomando en cuenta las condiciones climáticas y otras variables propias, con el fin de realizar cálculos más precisos.
- Estimular el convenio o trabajo en conjunto con instituciones del Estado para la cuantificación de emisiones de GEI, proyectos de reducción y compensación. Con el objetivo de generar mayor información y conocimiento del tema en el país.
- Desarrollar el Plan de ahorro de Emisiones y Energía de las estaciones inventariadas como Proyecto de Graduación o una Práctica Profesional de algún estudiante de Ingeniería Ambiental.

## 12. Bibliografía

- Arguedas, M. (2010). *La huella de carbono del ITCR*. Cartago: Tesis.
- Bonilla, A. (2008). El biodiésel, opción energética. *La Nación*.
- CEIM; Dirección General de Industria Energía y Minas. (2006). *Guía de Ahorro Energético en Instalaciones Industriales*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Coronado, A. (2010). *Informe de Reforestación Cerro Cedral*. San José.
- Dietsche, K. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Barcelona: Editorial Reverte.
- ENCC (2007). *Cambio climático: hacia la carbono neutralidad*. Recuperado el 07 de mayo de 2011, disponible en:  
[http://www.pazconlanaturaleza.org/admin/descargas/upload/Inventario\\_gases\\_GEI.pdf](http://www.pazconlanaturaleza.org/admin/descargas/upload/Inventario_gases_GEI.pdf)
- Europa. (2010). *Protocolo de Kioto sobre el cambio climático*. Recuperado el 27 de febrero de 2011, disponible en:  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/128060\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_es.htm)
- FAO. (2003). Costa Rica frente al Cambio Climático. En M. Alfaro, M. Hidalgo, & M. Alberto, *La línea Base de Costa Rica* (págs. 48-49). FAO.
- Garrigues Medio Ambiente. (2011). *Guía sobre el potencial de las Tecnologías de Información y Comunicación para el ahorro y la eficiencia energética*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Grupo ICE. (2011). *Servicio de Distribución*. Recuperado el 03 de setiembre de 2011, disponible en: [http://www.grupoice.com/esp/ele/docum/serv\\_dist\\_11.html#tge](http://www.grupoice.com/esp/ele/docum/serv_dist_11.html#tge)
- Hernández, L. (2006). *Predicción y optimización de emisores y consumo mediante redes neuronales en motores diesel*. Valencia: Editorial Reverte.
- Ibarra, G. (2010). *Más ideas para ahorrar combustible en automóviles*. Recuperado el 13 de abril de 2011, disponible en: <http://www.institutoesperanto.com.ar/2009/05/26/mas-ideas-para-ahorrar-combustible-en-automoviles/>
- ICE. (2011). *Ahorro de electricidad y eficiencia energética*. Recuperado el 13 de abril de 2011, disponible en: <http://www.grupoice.com/esp/cencon/gral/energ/consejos/usodelaenergia9.htm#1>
- INTECO. (2006). *INTE ISO-14064*. San José.
- IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land - Use Change and Forestry*. Recuperado el 28 de agosto de 2011, disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/spanish/ch3.pdf>



IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Recuperado el 13 de febrero de 2010, disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: informe de síntesis*. Ginebra.

IPCC. (2008). *Appendix A to the Principles Governing IPCC Work*. Recuperado el 07 de mayo de 2011, disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/ipcc-principles/ipcc-principles-appendix-a.pdf>

IPCC. (2010). *Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Recuperado el 01 de marzo de 2011, disponible en: [www.ipcc-nggip.ipes.or.jp/public/2006gl/vol1.html](http://www.ipcc-nggip.ipes.or.jp/public/2006gl/vol1.html)

Jimenez, G. (2008). *Informe de Reforestación en Cerro Monterrey*. San José.

La Nación. (26 de de Febrero de 2009 ). *Unidad de Coordinación Energética de la Secretaría General del SICA*. Recuperado el 13 de Abril de 2011, de Sistema de Integración Centroamericana, disponible en: <http://www.sica.int/busqueda/Noticias.aspx?IDItem=32438&IDCat=3&IdEnt=749&Idm=1&IdmStyle=1>

MINAET. (2007). *Inventario e informe de gases efeto invernadero (GEI)*. Recuperado el 15 de febrero de 2011, de Estrategia Nacional de Cambio Climatico, disponible en: [www.encc.go.cr/documentos/index.html](http://www.encc.go.cr/documentos/index.html)

MINAET. (2008). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Recuperado el 2 de diciembre de 2010, disponible en: [www.encc.go.cr](http://www.encc.go.cr)

Montero, J. M. (2009). *Propuesta de factores para el cálculo de factores de emisiones de gasesefecto invernadero del sistema eléctrico nacional y su aplicación a un inventario de 2008*. San José.

Moraes, C. (2001). *Almacenamiento de carbono en bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua*. Recuperado el 07 de mayo de 2011, disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0256E/A0256E.PDF>

Nabuur, G.-J., Ravindranat, N., Paustian, K., Freibae, A., Hohenstei, W., & Makund, W. (2003). *Orientacion sobre las buenas practicas en el sector de Cultivos*. Recuperado el 30 de Marzo de 2011, disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf/spanish/ch3.pdf>

Obella, C. (Sf). *Emerson Climate Technologies Inc*. Recuperado el 04 de Febrero de 2011, de Tendencias globales en la industria del aire acondicionado y la refrigeración en respuesta a la sustentabilidad. disponible en: <http://www.bc.com.ve/GuiasManualesPDF/TendenciasGlobalesASHRAE.pdf>

- Ortiz, E. (2011). *Compensación de emisiones con Proyectos Forestales, curso cálculo y compensación de la huella de carbono*, 8 de setiembre. ITCR, Cartago, Costa Rica.
- Ortiz, E. (2011). *Comunicación personal*. ITCR, Cartago, Costa Rica.
- Ortmann, R. (2003). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. Alemania: Reverte.
- Plana i Turró, M. (2011). *Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- PNUMA. (2004). *Secretaría del Ozono*. Recuperado el 8 de marzo de 2011, disponible en: [http://new.unep.org/ozone/spanish/Treaties\\_and\\_Ratification/2B\\_montreal\\_protocol.asp](http://new.unep.org/ozone/spanish/Treaties_and_Ratification/2B_montreal_protocol.asp)
- PNUMA. (2006). *La capa de ozono y las saos: Control aduanero de sustancias que agotan la capa de ozono*. Recuperado el 7 de marzo de 2011, disponible en: [www.pnuma.org/ozono/curso/pdf/m1.pdf](http://www.pnuma.org/ozono/curso/pdf/m1.pdf)
- Putt del Pino, S., & Bhatia, P. (2002). *Working 9 to 5 on Climate Change: An Office Guide*. WSI.
- RECOPE. (2011). *Precios Nacionales*. Recuperado el 04 de Setiembre de 2011, disponible en: [http://www.recope.go.cr/info\\_clientes/precios\\_productos/](http://www.recope.go.cr/info_clientes/precios_productos/)
- Rothenberger. (2004). *Ficha de datos de seguridad: Gas refrigerante R22*. Recuperado el 08 de marzo de 2011, disponible en: [www.rothenberger.es/documentos/25.ES.01.pdf](http://www.rothenberger.es/documentos/25.ES.01.pdf)
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Manual Técnico: Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. En M. Rügnitz, M. Chacón, & R. Porro. Lima, Perú: Consorcio Iniciativa Amazônica.
- Russo, R. (2002). *Los Bosques como sumideros y depósitos de carbono*. Recuperado el 07 de Mayo de 2011, disponible en: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000071.pdf>
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Miller, H. L., y otros. (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, US: Cambridge University Press.
- The Climate Registry. (2008). *General Reporting Protocol*.
- The GEF. (sf). *Esfera de actividad del FMAM: Agotamiento de la capa de ozono*. Recuperado el 07 de marzo de 2011, disponible en: <http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/Ozone-ES.pdf>
- Thomas, C., Tennant, T., & Rolls, J. (2000). *The GHG Indicator: UNEP Guidelines for Calculating Greenhouse Gas Emissions for Businesses and Non-Commercial Organisations*. UNEP.

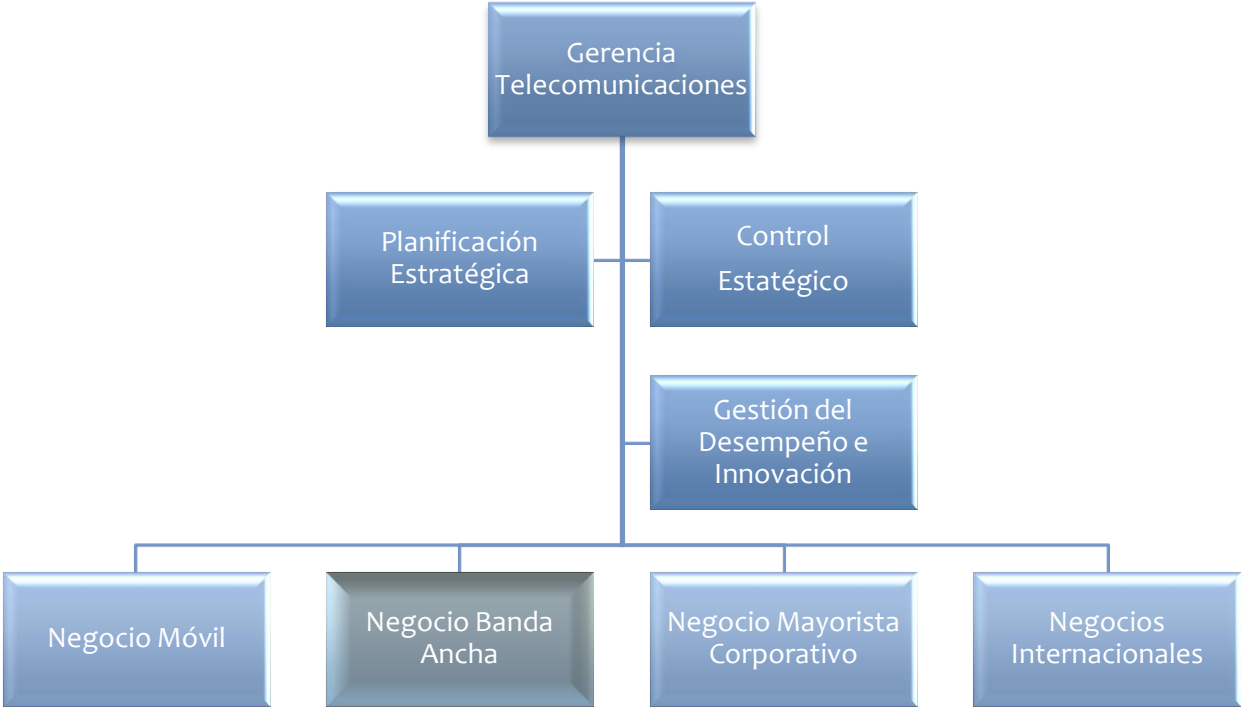
Vallejo, A. (2008). *Bosques y cambio climático*. Recuperado el 07 de mayo de 2011, disponible en: [http://www.katoombagroup.org/documents/events/event22/02\\_AVallejo\\_Bosques.pdf](http://www.katoombagroup.org/documents/events/event22/02_AVallejo_Bosques.pdf)

WBCSD. (2004). *The green houses gas protocol initiative*. Recuperado el 28 de febrero de 2011, disponible en: [www.ghgprotocol.org/standards/publications](http://www.ghgprotocol.org/standards/publications)

WBCSD, & WRI. (2005). *The Greenhouse Gas Protocol for Project Accounting*. Recuperado el 28 de febrero de 2011, disponible en: [www.ghgprotocol.org/standards/publications](http://www.ghgprotocol.org/standards/publications)

WRI. (2006). *Protocolo de GEI*. España.

**Anexo 1. Jerarquía de la Gerencia de Telecomunicaciones, ICE**

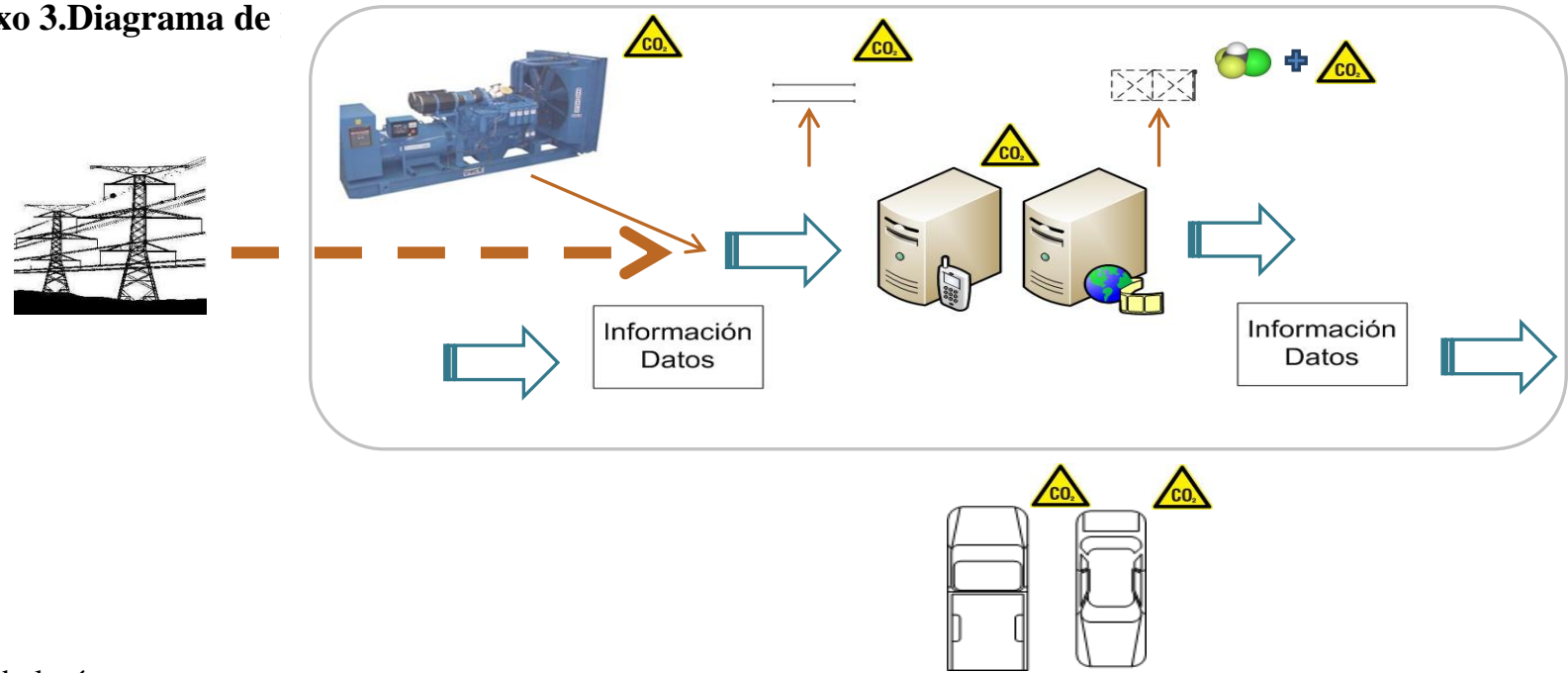


Fuente: Intranet del ICE.









## Anexo 2. Mapas de las estaciones.



### Anexo 3. Diagrama de

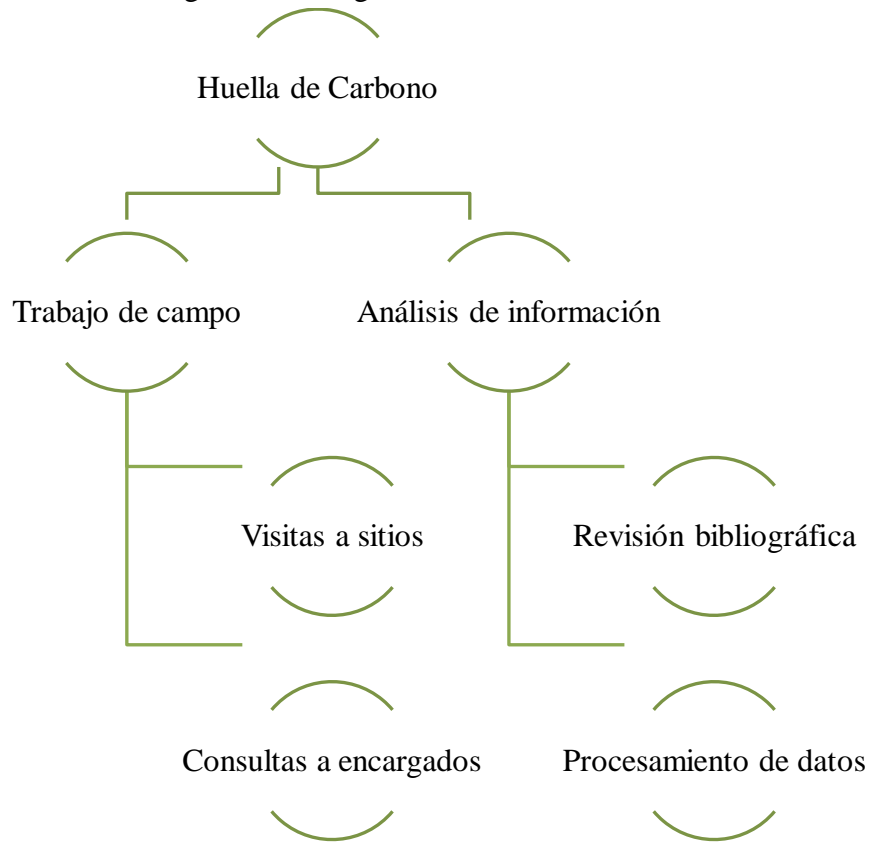


#### Simbología

	Red eléctrica		Generador eléctrico		Sistema de climatización		Emisiones de CO <sub>2</sub> y CO <sub>2e</sub>
	Equipo de telecomunicaciones		Vehículos		Luminarias		Fugas de R-22

Fuente: elaboración propia con información recopilada de las visitas a las estaciones

**Anexo 4.** Esquema de metodología de investigación



Fuente: Elaboración Propia

## **Anexo 5.** Información de las plantaciones forestales

### *Cerro Cedral*

El Cerro Cedral está ubicado en el distrito de Ciudad Quesada, en el cantón de San Carlos de la provincia de Alajuela (Coronado, 2010).

Según Coronado, el terreno sembrado el 4 de junio de 2010 es de 1,5 ha. En él se plantaron 555 árboles de 6 diferentes especies, donadas por el vivero La Tronadora, del Sector Electricidad. La distancia de siembra de los árboles fue de 3x3x3m, en forma de pata de gallo (Coronado, 2010).

Las especies utilizadas fueron:

- |                                                  |                                                    |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1- Almendro de montaña ( <i>Andira inermis</i> ) | 5- Cortez amarillo ( <i>Tabebuia</i> spp.)         |
| 2- Ardillo o lorito ( <i>Cojoba arborea</i> )    | 6- Corteza morado ( <i>Tabebuia impetiginosa</i> ) |
| 3- Caoba ( <i>Swietenia</i> spp.)                | 7- Ron ron ( <i>Astronium graveolens</i> )         |
| 4- Ceiba ( <i>Ceiba pentandra</i> )              | 8- Sotacaballo ( <i>Zygia longifolia</i> )         |

### *Cerro Monterrey*

El Cerro Monterrey es parte de la Cordillera de Tilarán y pertenece al distrito de Monterrey de San Carlos de Alajuela. El terreno reforestado fue de 2,85ha, el 19 de setiembre de 2008 (Jimenez, 2008).

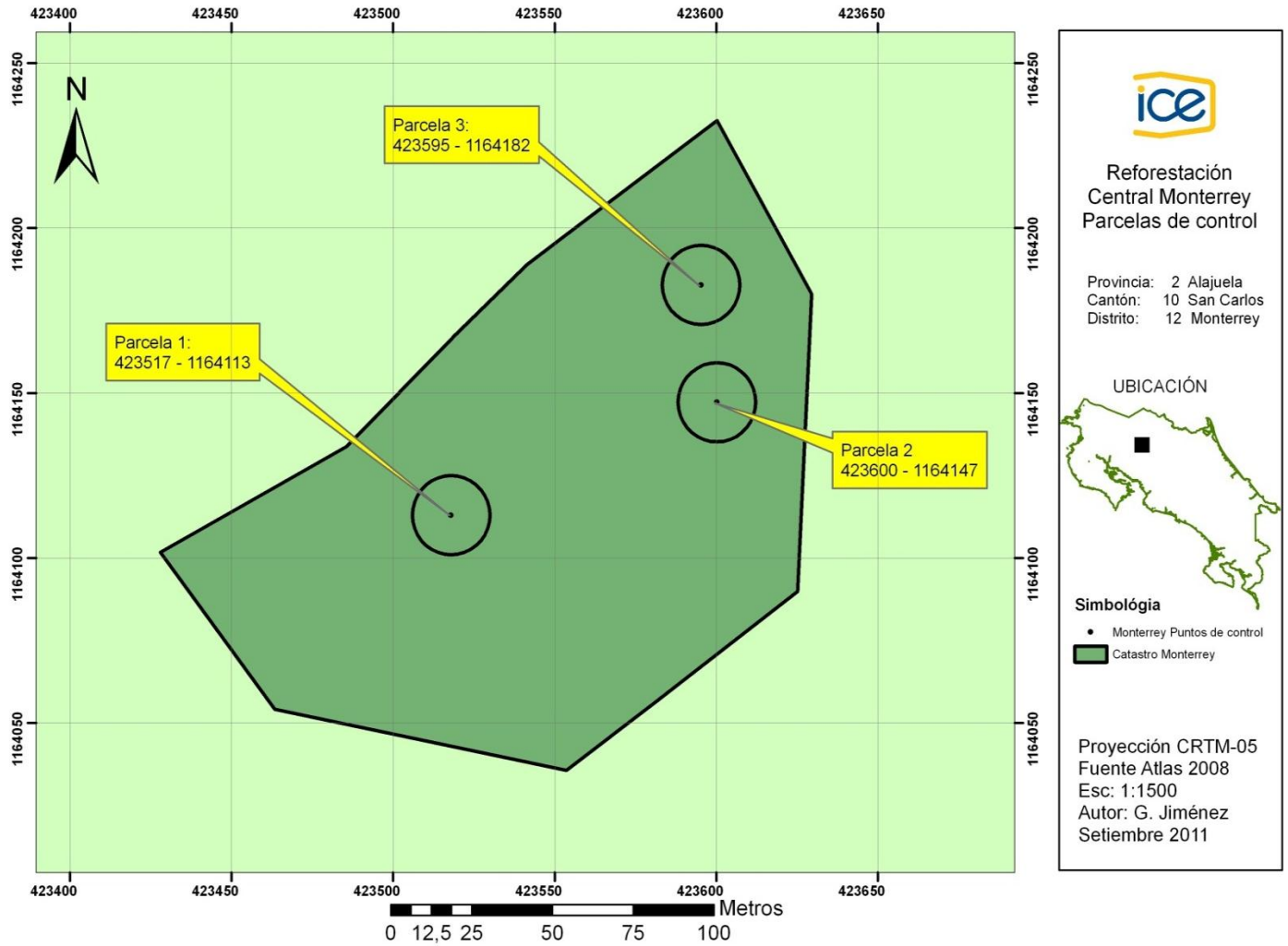
Según el Informe de Reforestación del Cerro Monterrey se sembraron 3000 árboles. La distancia de siembra fue de 3x3x3m en medio del contorno de las curvas de nivel del terreno, lo que proporcionó una densidad de siembra de 1110 árboles / ha.

Los árboles sembrados están distribuidos proporcionalmente en las siguientes especies:

- 1- Cenízaro (*Samanea saman*)
- 2- Corteza morado (*Tabebuia impetiginosa*)
- 3- Roble sabana (*Tabebuia rosea*)
- 4- Sotacaballo (*Zygia longifolia*)

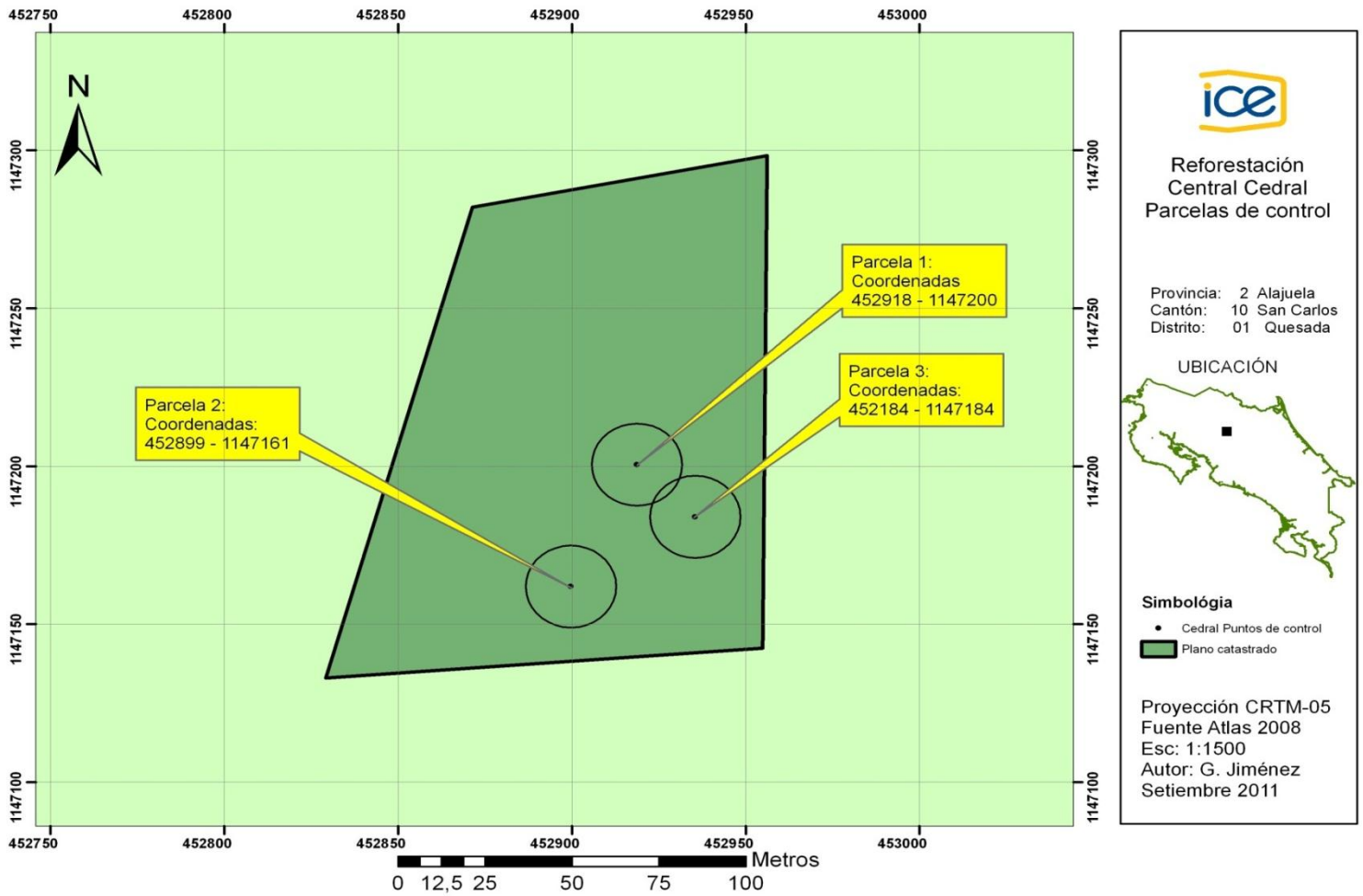


Anexo 6. Mapa de parcelas del Cerro Monterrey<sup>21</sup>



<sup>21</sup> Fuente: Mapa elaborado y facilitado por el ing. Gustavo Jiménez, ICE.

## Anexo 7. Mapa de parcelas del Cerro Cedral<sup>22</sup>



<sup>22</sup> Fuente: Mapa elaborado y facilitado por el ing. Gustavo Jiménez, ICE.