

UCH-FC
Ch. Ambiental
6241
C.1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“INVENTARIO DE EMISIONES E IMPLEMENTACION DE HUELLA DE
CARBONO MEDIANTE METODOLOGIA GHG PROTOCOL EN
CONSTRUCTORA ASOCIADA A LA GRAN MINERIA”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

ERIKA LORETO GARRIDO ESPINOLA

Director de Seminario de Título: Sr. Osvaldo Carvajal Q.

Profesor Patrocinante: Mag. Julio Hidalgo

Diciembre de 2013

Santiago – Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata:

ERIKA LORETO GARRIDO ESPINOLA

“INVENTARIO DE EMISIONES E IMPLEMENTACION DE HUELLA DE CARBONO MEDIANTE METODOLOGIA GHG PROTOCOL EN CONSTRUCTORA ASOCIADA A LA GRAN MINERIA”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental


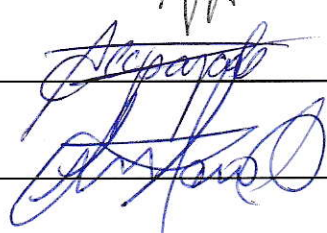
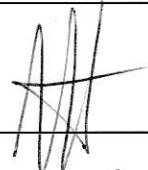
COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Sr. Osvaldo Carvajal Q.
Director Seminario de Título

Mag. Julio Hidalgo
Profesor Patrocinante

Correctora

Corrector



Santiago de Chile, Diciembre 2013



A mi mamá



ERIKA LORETO GARRIDO ESPINOLA

Nacida en Santiago de Chile el 09/02/1984. La menor de cuatro hermanos, de personalidad un poco introvertida, pero una mujer de carácter fuerte y grandes valores. Amante de los libros, la naturaleza, los animales y el rock, sus más grandes pasiones.

Desde muy pequeña presentó una gran inclinación por la ciencia, analizando y observando todo, buscando respuestas a las mayores interrogantes de la vida. En su adolescencia estudió en el Liceo N°1 de Niñas Javiera Carrera, donde fue una alumna de buen rendimiento y descubrió su capacidad y afición para la química y la ciencia en general.

Ingresó a la carrera de Química Ambiental en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, la cual le apasionó desde un principio, con un ideal fijo en la mente de buscar soluciones a los problemas medioambientales que existen en el país, aportar su granito de arena a la sociedad y realizarse como profesional; sin embargo terminar este proceso no le fue nada fácil, ya que debió superar muchos obstáculos personales que la vida le puso en el camino, pero con perseverancia y decisión continuó hasta el final, terminando felizmente de titularse.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a toda mi familia, a mis hermanos Gilda, Iván y Andrés por su cercanía, apoyo incondicional, sus buenos consejos y retos, a mi sobrino por su cariño y comprensión en este largo proceso, pero en especial a mi madre por su amor y eterna entrega, diciéndome siempre las palabras adecuadas en el momento preciso, enseñándome a enfrentar la vida con fortaleza, perseverancia y decisión.

De igual manera agradezco a mis grandes amigos y amigas, por estar siempre ahí apoyándome y animando a seguir adelante, especialmente a Claudia, Tamara, Betty, Coté, Héctor, Ana y Pamela, los cuales fueron mi soporte y contención en momentos de penas y alegrías. Del mismo modo agradezco a las señoras Gladys, Flor y Juani por su cariño y buenos consejos.

También agradezco a la vida por darme la oportunidad de crecer como persona y superar obstáculos, enseñarme a creer en mí misma y en mis capacidades, que cuando se actúa en el modo correcto y según los valores inculcados se obtiene tarde o temprano una buena recompensa, terminando exitosamente este ciclo tan importante de mi vida.

Agradezco a la empresa Constructora El Sauce por haberme dado la oportunidad de realizar mi seminario de título, por haber conocido grandes personas durante mi estadía, de las cuales me llevo gratos recuerdos, entre ellos el área de SSMC y V&C, con los cuales compartí muchas risas y buenos momentos, a Claudia D. por su paciencia y buena disposición y en general a todas las personas que aportaron para la realización de este seminario de título.

Agradezco de manera especial a la Dra Carú por su comprensión en este largo proceso y a Juani López por creer siempre en mí, apoyándome y alentando para

terminar la carrera de la mejor manera posible, a mi coordinadora de carrera, Sylvia Copaja por la constante preocupación, entrega y compromiso con sus alumnos y la carrera, a Marisol Aravena por sus consejos, buena disposición y simpatía, a Julio Hidalgo por haber sido mi profesor patrocinante y a los profesores de la carrera en general por sus enseñanzas y exigencias, ya que sin ellos no hubiera tenido las herramientas necesarias y una buena formación profesional para enfrentar el futuro.

Gracias a todas las personas que fueron parte en esta etapa de mi vida, a las que recordaré siempre con mucho cariño y también a los que están siempre presentes acompañándome día tras día en mi caminar.

Erika Garrido

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Efecto invernadero.....	5
1.3 Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	6
1.3.1 Dióxido de Carbono.	7
1.3.2 Metano.....	10
1.3.3 Oxido Nitroso.....	11
1.3.4 Hidrofluorocarbonos.	12
1.3.5 Perfluorocarbonos.	13
1.3.6 Hexafluoruro de azufre.	15
1.4 Relación entre el CO ₂ y los procesos de combustión de combustibles fósiles.	16
1.5 Huella de carbono.....	17
1.6 Metodología GHG Protocol.....	18
1.6.1 Principios de contabilidad y reporte de GEI bajo GHG Protocol.....	19
1.7 Objetivos.....	21
1.7.1 Objetivo General.....	21
1.7.2 Objetivos Específicos.	21
1.8 Alcances y limitaciones.....	22
1.8.1 Alcances del estudio.....	22
1.8.1.1 Proyectos Minera Escondida Ltda.	22
1.8.1.2 Proyectos CODELCO División Andina.	24
1.8.1.3 Proyectos CODELCO División Teniente.	24
1.8.2 Alcances de las emisiones a incluir.	25

1.8.3 Limitaciones del estudio.....	25
CAPITULO II: METODOLOGÍA	27
2.1 Guía Técnica GHG Protocol	27
2.2 Descripción de la metodología.....	28
2.3 Límites Organizacionales.....	29
2.3.1 Determinación de los límites organizacionales.	29
2.3.2 Definición del enfoque a aplicar.	29
2.3.3 Definición del alcance de la organización.	30
2.4 Límites operacionales.	31
2.4.1 Determinación de los límites operacionales.	31
2.4.2 Fuentes de Emisiones de GEI.	32
2.4.3 Clasificación de emisiones según alcances.	32
2.5 Seguimiento de las emisiones a través del tiempo.	34
2.5.1 Elección del año o periodo base.	34
2.5.2 Recálculo de emisiones.	34
2.6 Identificación y cálculo de las emisiones de GEI.....	35
2.6.1 Identificación de las fuentes de emisiones de GEI.....	35
2.6.1.1 Fuentes de emisiones para el alcance 1.	36
2.6.1.2 Fuentes de emisiones para el alcance o alcance 2.	36
2.6.1.3 Fuentes de emisiones para el alcance o alcance 3.	36
2.6.2 Selección del método de cálculo de las emisiones de GEI.	37
2.7 Recolección de datos y elección de factores de emisión.	37
2.7.1 Recolección de datos.	37
2.7.2 Elección de los factores de emisión.....	38

2.8 Aplicación de herramientas de cálculo.....	39
2.8.1 Metodologías de cálculo.....	40
2.9 Incertidumbre asociada a la metodología.....	44
2.9.1 Calidad e incertidumbre en el inventario.....	44
2.10 Desarrollo y presentación del inventario de emisiones.....	45
CAPITULO III: RESULTADOS	46
3.1 Resultados del alcance 1.....	46
3.2 Resultados del alcance 2.....	52
3.3 Resultados del alcance 3.....	52
CAPITULO IV: DISCUSION	55
4.1 Análisis de resultados generales.....	55
4.2 Análisis de resultados para el alcance o alcance 1.....	62
4.3 Análisis de resultados para el alcance o alcance 2.....	63
4.4 Análisis de resultados para el alcance o alcance 3.....	63
CAPITULO V: CONCLUSIONES	64
5.1 Recomendaciones.....	65
CAPITULO VI: REFERENCIAS.....	67
CAPITULO VII: ANEXOS	69
7.1 Factores de Emisión.....	70
7.1.1 Combustible Diesel y Gasolina 93'.....	70
7.1.2 Consumo de electricidad.....	70
7.1.3 Vuelos aéreos.....	71

7.1.4 Potenciales de Calentamiento Global	71
7.2 Esquema Metodología GHG Protocol	72
7.3 Inventario de Emisiones.....	73
7.4 Inventario de emisiones por proyecto para consumo de petróleos.	74
7.5 Maquinaria pesada y su descripción.	75
7.6 Equipos fijos y su descripción.....	76
7.7 Camiones y su descripción.	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas y químicas de los GEI de mayor emisión hacia la atmósfera.	12
Tabla 2: Proyectos de Minera Escondida Ltda en el periodo 2008-2012.	23
Tabla 3: Proyectos de CODELCO División Andina en el periodo de estudio.	24
Tabla 4: Proyectos de CODELCO División Teniente en el periodo de estudio.....	24
Tabla 5: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en equipos fijos propios de Constructora El Sauce durante el periodo 2008-2012.....	46
Tabla 6: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en equipos fijos arrendados a terceros durante el periodo 2008-2012.....	47
Tabla 7: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en maquinaria pesada propia durante el periodo 2008-2012.	48
Tabla 8: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en camiones y vehículos propios durante el periodo 2008-2012.....	48
Tabla 9: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en maquinaria pesada arrendada a terceros durante el periodo 2008-2012.	49
Tabla 10: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en camiones y vehículos arrendados a terceros durante el periodo 2008-2012.....	50
Tabla 11: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de gasolina 93` en camionetas durante el periodo 2008-2012.....	51
Tabla 12: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo del refrigerante R-134a durante el periodo 2008-2012.....	51
Tabla 13: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de energía eléctrica durante el periodo 2008-2012.....	52

Tabla 14: Emisiones de GEI anuales debido a los vuelos realizados por el personal y sus respectivas rutas durante el periodo 2008-2012.....	53
Tabla 15: Resumen de las emisiones de GEI y sus respectivas fuentes de emisión. ..	54
Tabla 16: Emisiones totales de GEI obtenidas durante el periodo 2008-2012 según fuente de emisión.	57
Tabla 17: Fuentes de emisiones con mayor consumo de petróleo diesel en Constructora El Sauce.....	62
Tabla 18: Factores de emisión para combustible diesel y gasolina 93' en fuentes de combustión fija y móvil.....	70
Tabla 19: Factor de emisión promedio anual para sistemas eléctricos nacionales.	70
Tabla 20: Factores de emisión de CO ₂ para vuelos nacionales.	71
Tabla 21: Potenciales de calentamiento global de gases de efecto invernadero en un periodo de 100 años.....	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Media global del cambio de temperatura en la tierra y el mar entre 1880-2010	3
Figura 2. Cambio climático	5
Figura 3. Efecto invernadero	6
Figura 4. Modos vibracionales de la molécula dióxido de carbono.....	8
Figura 5. Estructura molecular del dióxido de carbono.	9
Figura 6. Estructura molecular del metano.	10
Figura 7. Representación química del óxido nitroso.	11
Figura 8. Representación química del gas R-134a.	13
Figura 9. Representación química del perfluorometano.....	14
Figura 10. Representación química del hexafluoruro de azufre.	15
Figura 11. Límites del sistema en Constructora El Sauce.....	31
Figura 12. Categoría de emisiones de GEI.....	33
Figura 13. Tendencia anual de las emisiones de GEI.....	55
Figura 14. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2008.	58
Figura 15. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2009.	58
Figura 16. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2010.	59
Figura 17. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2011.	60

Figura 18. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del
año 2012. 60

GLOSARIO

Alcance 1 o Scope 1: Las emisiones del Alcance 1 se refieren a las que son producidas *in situ*, provenientes de fuentes que son propiedad de la empresa o que son controladas por ella en sus proyectos.

Ejemplos: emisiones por consumo de combustibles fósiles y emisiones fugitivas por pérdida de refrigerante.

Alcance 2 o Scope 2: Se refiere a las emisiones del uso de electricidad.

Ejemplos: emisiones por uso de equipos eléctricos, electrónicos e iluminación entre otros.

Alcance 3 o Scope 3: Son las emisiones indirectas que se producen a partir de fuentes que se encuentran fuera de la organización, pero que le corresponde considerar a la empresa como propias.

Ejemplos: residuos enviados a rellenos sanitarios, los viajes del personal y las emisiones incorporadas en todas las compras, incluyendo insumos, artículos de oficina, pagos y abonos; los servicios electrónicos, los servicios de gestión profesional y otros gastos.

Combustibles fósiles: Se denominan así a los depósitos geológicos de materiales orgánicos combustibles que se encuentran enterrados y que se formaron por la descomposición de plantas y animales, las cuales fueron convertidas posteriormente en petróleo crudo, carbón y gas natural, debido al calor y la presión de la corteza terrestre durante cientos de millones de años.

CO₂ equivalente (CO₂-e): Esta unidad refleja el impacto de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero, incluyendo CO₂ (Dióxido de Carbono), CH₄ (Metano), N₂O (Óxido Nitroso), SF₆ (Hexafluoruro de Azufre), así como los Fluorocarbonos PFC/HFC y expresa su variación en el impacto del calentamiento global en términos de CO₂ equivalente.

Dato de actividad: Medida cuantitativa de una actividad que resulta en una emisión de GEI.

Diesel: Es un hidrocarburo líquido de densidad media, sobre $0,832 \text{ g/cm}^3$, un derivado del petróleo de alto poder calorífico, compuesto principalmente por parafinas y utilizado como combustible en calefacción o en motores diesel.

Factor de Emisión (FE): Es la cantidad de $\text{CO}_2\text{-e}$ emitido (en kg o toneladas) por unidad acorde al factor.

Fuente de emisión: Es aquella que emite o es susceptible de emitir contaminantes a la atmósfera, pudiendo ser de origen natural o antropogénico. Se pueden clasificar en fuentes fijas o móviles.

Gas refrigerante R-134a: De nombre químico 1,1,1,2-Tetrafluoroetano, su fórmula química es CH_2FCF_3 . Es un hidrofluorocarbono (HFC), que no daña la capa de ozono, pero que pertenece a los gases de efecto invernadero (GEI). Se utiliza en el aire acondicionado de los automóviles, maquinarias y también en refrigeradores domésticos.

Gases de efecto invernadero (GEI): Son aquellos gases que contribuyen al calentamiento global como CH_4 , CO_2 , N_2O , etc.

Huella de Carbono: Es el cálculo que se realiza a todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en las cuales un producto, servicio o empresa son responsables a lo largo de su cadena de valor/abastecimiento, permitiendo encontrar eficiencias internas y externas que permitan disminuir emisiones y mejorar procesos.

Potencial de Calentamiento Global (PCG): Índice relativo empleado para comparar el impacto que tiene en el clima la emisión de un kilogramo de un gas de efecto invernadero comparado con la emisión de un kilogramo de dióxido de carbono. Los valores del índice consideran los efectos radiativos de cada gas así como sus diferentes tiempos de permanencia en la atmósfera.

Pila de Lixiviación: Pila de mineral, dotada de una base impermeable de geomembrana doble con tubo de control, diseñada en forma aislada del suelo original

del terreno que la sustenta para poder ser bañada con soluciones ácidas para la extracción del mineral.

Protocolo de Kyoto: Es un protocolo y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de los seis gases de efecto invernadero de mayor impacto que causan el calentamiento global: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, además de tres gases industriales fluoruros: hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012.

LISTA DE ABREVIATURAS

Proyectos Minera Escondida.

O.L.E. Oxide Leach Expansion

E.B.P.E II Escondida Bioleach Pad Extension Phase II

E.O.A Escondida Ore Access

T.L.S. Tranque Laguna Seca

B.P.Z By-pass Zaldivar

O.L.A.P. Oxide Leach Area Proyect

RESUMEN

Constructora El Sauce S.A es una empresa dedicada al rubro de la construcción minera, sanitaria, vial, arriendo de maquinarias y construcción de obras civiles que ofrece soluciones de excelencia en esta área, se especializa en el movimiento de tierra para la construcción de caminos, plataformas y muros entre otras obras.

Debido a la conciencia ambiental que se está generando frente al cambio climático en algunas organizaciones, la empresa se propuso llevar a cabo la determinación de su huella de carbono y realizar un *inventario* de las emisiones de gases de efecto invernadero - en adelante (GEI) - producidas a partir de las operaciones de sus proyectos desde el año 2008 a 2012, considerando el consumo de combustibles fósiles, el consumo eléctrico generado en todas sus operaciones, tanto en la oficina central como en las faenas mineras, y los vuelos aéreos realizados por el personal como las mayores fuentes de emisión.

La metodología utilizada para el desarrollo del inventario fue la de GHG Protocol, la cual es reconocida internacionalmente como la herramienta de contabilidad más utilizada a nivel corporativo, ya que sirve para entender, cuantificar y gestionar las emisiones de GEI.

El cálculo de emisiones de la empresa en sus proyectos y contratos, se realizó aplicando diversos factores de emisión, mediante fórmulas específicas para cada una de las fuentes de emisión, obteniendo como resultado una huella de carbono bastante elevada, un total de 12.460 toneladas de CO₂ equivalente en promedio para el periodo en estudio.

Se identificaron las actividades de la empresa correspondientes a los puntos críticos de emisión, los cuales fueron el consumo de petróleo diesel en la utilización de maquinaria pesada, camiones y equipos fijos, obteniendo sobre el 80% de las emisiones totales en la suma de ambas fuentes los dos últimos años del periodo en estudio, seguido de los vuelos aéreos con un porcentaje superior al 10% de las emisiones totales en los años de mayor emisión de GEI.

Este inventario permitirá a la empresa comprender los alcances de su impacto en el cambio climático con la finalidad de comparar y comunicar sus logros obtenidos, luego de la aplicación de futuras estrategias de reducción y mitigación de emisiones de GEI. De este modo será capaz de gestionar su huella de carbono como organización, utilizar esta información para demostrar su compromiso con el medio ambiente mediante reportes públicos y en el futuro certificarse.

ABSTRACT

The Sauce Construction S.A is a company dedicated to the field of mining construction, sanitary, road construction machinery rental and civil works of excellence providing solutions in this area, specializes in the movement of ground for construction of roads, platforms and walls among other works.

Due to environmental awareness being generated climate change in some organizations, the company proposed to carry out the determination of its carbon footprint and perform an inventory of emissions of greenhouse gases - henceforth (GHG) produced from the operations of their projects since the year 2008-2012, considering the consumption of fossil fuel, generated electricity consumption in all its operations, both at head office and mining operations and aerial flights made by staff as major emission sources.

The methodology used to develop the inventory was the GHG Protocol, which is recognized internationally as the most widely used accounting tool at the corporate level, as it serves to understand, quantify and manage GHG emissions.

The calculation of emissions from company in their projects and contracts, is performed by applying different emission factors, using specific formulas for each of the emission sources, resulting in a very high carbon footprint, on average of 12.460 tons of CO₂ equivalent for the study period.

The activities of the company were identified corresponding to critical points of emission, which were diesel oil consumption in the use of heavy machinery, trucks and stationary were also identified, obtaining over 80% of total emissions in the addition of

both sources the last two years of the study period, followed by the flights with a percentage higher than 10% of total emissions in the years of greatest GHG emissions.

This inventory will allow the company to understand the scope of its impact on climate change in order to compare and communicate its achievements after the implementation of future strategies for the reduction and mitigation of GHG emissions. Will thus be able to manage its carbon footprint as an organization, use this information to demonstrate their commitment to the environment through public reports and certified in the future.

CAPITULO I: INTRODUCCION

El cambio climático está catalogado como uno de los desafíos más grandes a los que se enfrenta la humanidad en la actualidad; éste afecta a todas las áreas geográficas, a todos los individuos y empresas, en definitiva, al futuro del planeta (OSE 2011). Es un fenómeno global provocado por el hombre, alterando el clima y afectando el desarrollo de nuestras condiciones de vida, haciendo más vulnerable el medio ambiente.

El hombre tiene una gran responsabilidad ante el cambio climático. La mayor parte del alza de la temperatura registrada desde mediados del Siglo XX, es atribuible al aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera originada por actividades humanas, tales como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura, trayendo como consecuencia el denominado *calentamiento global*.

Hoy en día la mayor parte de las actividades que realizamos (transporte, proyectos, cultivos) o los bienes que poseemos implican un consumo energético o emisiones de gases a la atmósfera.

El cambio climático no sólo constituye un problema ambiental, sino también un problema de desarrollo, con profundos impactos potenciales a la sociedad.

“Mitigar el cambio climático implica limitar y reducir las emisiones de GEI hacia la atmósfera a niveles muy inferiores a los existentes” (ANDI 2013). Es por eso que surge la determinación de la *huella de carbono*, que se presenta como una herramienta de gestión ambiental en respuesta a las exigencias impuestas por los consumidores que plantean como objetivo economías bajas en emisiones de GEI y la reducción de impactos adversos generados por el cambio climático.

Esta iniciativa dio comienzo al compromiso por parte de todos los países que asistieron a la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro en 1992 a firmar el Protocolo de Kyoto en 1997. Este protocolo acordado en 1998 por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, indica que todos los países asistentes debían reducir sus emisiones al menos en un 5% de los seis GEI de mayor impacto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbono (HFC), perfluorocarbono (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), entre el periodo 2008-2012 en comparación con las emisiones del año 1990 (Protocolo de Kyoto, 1998). Pese a que este protocolo no se hizo efectivo sino hasta el año 2005, a partir de esa fecha, se comienzan a utilizar herramientas de gestión ambiental y se crean mercados de carbono. Esta herramienta permite a las empresas generar ventajas competitivas, un mejor manejo de riesgos, y dar un valor agregado a sus proyectos por ser organizaciones con sistemas de control de sus GEI.

1.1 Antecedentes.

Según el informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) declara, basándose en índices muy confiables, que una de las consecuencias del comportamiento humano mantenido desde 1750 ha sido el calentamiento global. Existe consenso entre los científicos en relación a las proyecciones de un aumento promedio de 0,2 grados de temperatura por década dentro de los próximos 20 años. Las variaciones que presente la temperatura luego de estas dos décadas, dependerán exclusivamente del aumento o de la disminución de las emisiones de GEI.

El informe prevé para el año 2100, un aumento promedio en la temperatura global del planeta que va desde 1,1°C hasta 6,4°C por encima de las temperaturas presentadas el año 1990 y un crecimiento del nivel del mar de entre 18 y 59 centímetros con respecto al nivel de comienzos de este siglo. Estos cambios en el nivel del mar, se dejarán sentir mediante el incremento en intensidad y frecuencia de las tormentas; el aumento de la erosión; la pérdida de importantes humedales; impacto sobre los ecosistemas costeros y la destrucción de asentamientos humanos. (P.U.C 2011).

En la figura 1 se observa un incremento continuo de la temperatura, la cual se ha acelerado en las últimas décadas debido al aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera, producto de las actividades humanas.

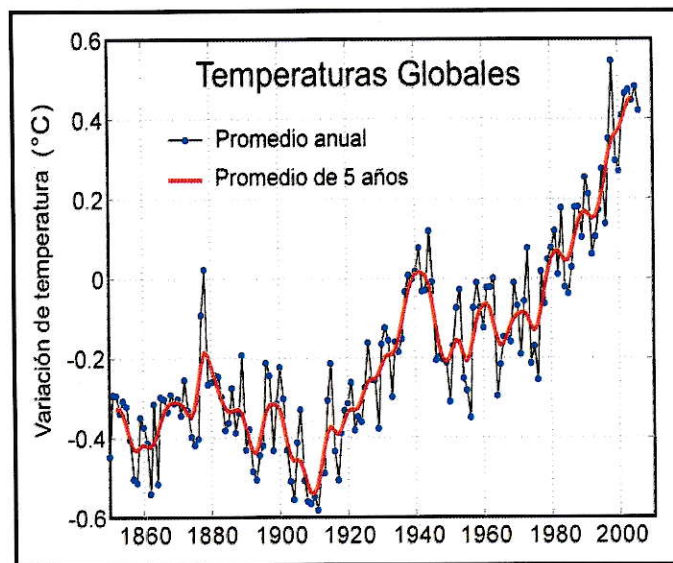


Figura 1. Media global del cambio de temperatura en la tierra y el mar entre 1880-2010

(www.cambioclimaticoglobal.com)

Si se revisa el gráfico de las temperaturas de la superficie terrestre de los últimos 100 años, se observa un aumento de aproximadamente 0.8°C y que la mayor parte de este aumento, ha sido en los últimos 30 años.

Algunas proyecciones de estos impactos, suponiendo que los niveles de emisión de las empresas se mantienen como han sido hasta ahora, son:

- Una escasez de agua que afectará a millones de personas (alza de 2°C a 3°C)
- Un aumento del 30% en las extinciones de especies marinas al presentarse un alza de 1°C de temperatura, mientras que se prevé una extinción generalizada ante un alza de 5°C.
- Dificultades localizadas para asegurar el abastecimiento de alimentos necesarios para la subsistencia y un descenso de la producción en los campos de cereales ubicados en latitudes bajas (alza de 2°C a 5°C).
- Aumento de los daños ocasionados por inundaciones y tormentas (2°C).
- Cambio en la distribución de los vectores de enfermedades (en 2°C) e impactos en la salud asociados tanto al aumento del calor y la falta de agua, como al aumento de las inundaciones y sequías.

En la figura 2 se observa una comparación predictiva del aumento de las temperaturas a nivel mundial respecto de los periodos 2020-2029 y 2090-2099.

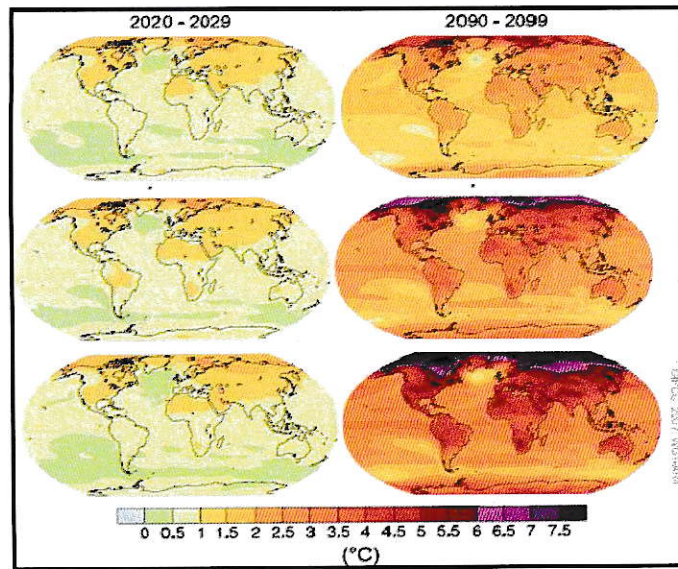


Figura 2. Cambio climático (www.cambioclimaticoglobal.com)

La escala de colores indica el aumento en grados Celsius de las diferentes regiones del mundo, presentando un aumento mayor en la zona ártica.

1.2 Efecto invernadero.

El efecto invernadero, es un fenómeno atmosférico que ocurre de forma natural, en el cual los gases que se encuentran en la atmósfera retienen el calor emitido por la Tierra. Estos gases son principalmente dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua ($\text{H}_2\text{O}_{(g)}$) y metano (CH_4) entre otros, y son conocidos como GEI; éstos retienen parte de la energía calorífica que se recibe del sol, manteniendo la temperatura dentro de un rango que hace posible la existencia de vida en el planeta (IGME 2013).

No obstante lo anterior, la actividad humana y el uso de los combustibles fósiles han incrementado la presencia de estos gases en la atmósfera a niveles tan grandes, que han conducido al calentamiento global y en consecuencia al cambio climático.

En la figura 3 se observa en detalle el efecto invernadero y cómo ocurre este fenómeno.



Figura 3. Efecto invernadero. (www.cambioclimaticoglobal.com)

En primer lugar se tiene la radiación solar entrante en la atmósfera; luego esta radiación pasa a través de la atmósfera libre de obstáculos y aproximadamente un 30% de ésta es reflejada por la atmósfera y la superficie terrestre, conocida como *albedo*. Otra cantidad de la radiación infrarroja (IR) atraviesa la atmósfera y se pierde en el espacio, el resto es absorbida y reemitida por las moléculas de gases de efecto invernadero. El efecto directo es el calentamiento de la superficie terrestre y la tropósfera, la superficie gana T° y la radiación IR es emitida de nuevo.

1.3 Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Los seis gases de efecto invernadero de mayor impacto, que provienen de procesos completos o incompletos de la utilización de combustibles fósiles, la

agricultura o la deforestación entre otras fuentes de emisión, señalados en el Protocolo de Kyoto son los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO₂):
- Metano (CH₄).
- Óxido nitroso (N₂O).
- Hidrofluorocarbono (HFC)
- Perfluorocarbono (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Estos gases poseen un alto potencial de calentamiento global (PCG), es decir, que su capacidad de retención del calor en la atmósfera es alta y son los que más aportan al calentamiento global.

1.3.1 Dióxido de Carbono.

El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI de carácter antropogénico más abundante, ya que se libera en actividades frecuentes como: la quema de combustibles fósiles, uso de suministros de energía, la agricultura y cambios en el uso de suelo. En el año 2004 representaba el 77% de las emisiones totales de GEI y su tasa de crecimiento es aceleradamente exponencial. (IPCC, 2007).

Este gas es esencial para la vida en la Tierra, ya que sin él no existiría el efecto invernadero natural y la T° del planeta sería de -18°C y no de 15°C en promedio como se conoce. Sin embargo, el incremento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ ha sido tan acelerado que ha llegado a ser de 379 ppmv en el año 2005, un 36% más que la existente en la era pre-industrial, la cual era de 275 a 285 ppmv (IPCC, 2007), por lo que su denominación como el mayor contribuyente al calentamiento global es evidente

si se compara con los otros GEI cuyas concentraciones son del orden de los ppb en el caso del CH₄ y el N₂O y ppt en el caso de los halocarbonos y SF₆.

Químicamente, la molécula de CO₂ presenta una estructura lineal y por lo tanto sus grados de libertad vibracionales son (3N-5), es decir, presenta cuatro modos vibracionales: tensión simétrica, tensión asimétrica y dos vibraciones de flexión. Dado que el momento dipolar permanente de la molécula es nulo, la vibración de tensión simétrica no será activa en el espectro de infrarrojo. En cambio la vibración de tensión asimétrica (vibración paralela) genera un momento dipolar y por lo tanto producirá una banda de absorción, así como las dos vibraciones de flexión (vibraciones perpendiculares), que son degeneradas en energía y por tanto aparecen como una sola señal en el espectro. Las bandas de absorción se encontrarán a 2330 cm⁻¹ (4,3 μm) y a 667 cm⁻¹ (15 μm). (Skoog y col, 2008)

En la figura 4 se muestran los modos normales de vibración de una molécula de dióxido de carbono.

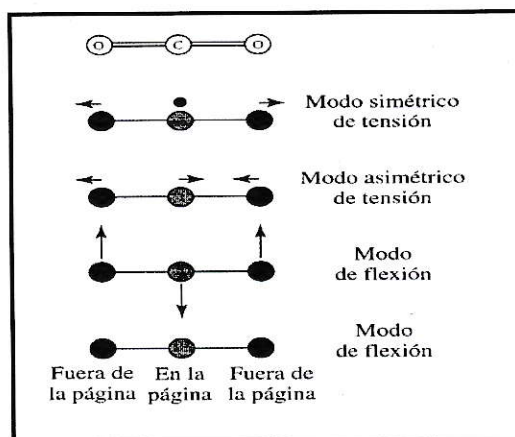


Figura 4. Modos vibracionales de la molécula dióxido de carbono (Rubinson & Rubinson, 2001)

Los dos primeros corresponden a los modos vibracionales de tensión simétrico y asimétrico, en los que se puede observar el movimiento de sus átomos. En el simétrico los átomos de O se mueven juntos hacia adentro y hacia fuera, mientras el átomo de C permanece fijo en su posición. En el asimétrico los átomos de O se mueven juntos en la misma dirección, mientras que el átomo de C se mueve en la dirección opuesta. En el caso de las vibraciones de flexión los átomos de O se mueven hacia abajo mientras el átomo de C se mueve hacia arriba, este modo de vibración se conoce como tijereteo. Ambas vibraciones de flexión son perpendiculares entre sí e idénticas en energía, se dice que son degeneradas y por lo tanto producen una única banda de absorción en el IR a 667 cm^{-1} ($15\text{ }\mu\text{m}$). (Rubinson & Rubinson, 2001)

En la figura 5 se muestra la estructura lineal de la molécula de CO_2 , también su estructura de Lewis y momento dipolar, el cual se anula debido a que los átomos de O se mueven en direcciones opuestas, obteniendo un μ total de 0, como indica la figura.

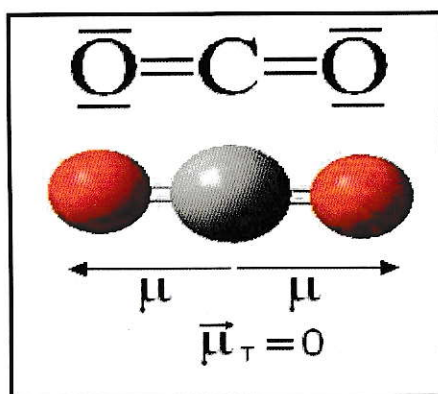


Figura 5. Estructura molecular del dióxido de carbono.

1.3.2 Metano.

El metano (CH_4) es el hidrocarburo más sencillo de la familia de los alcanos y el segundo GEI de carácter antropogénico más abundante y emitido hacia la atmósfera. En la naturaleza se genera por procesos anaeróbicos de microorganismos y plantas de los cuales se puede obtener biogás. En el caso de las fuentes antrópicas se encuentra la ganadería, el cultivo de arroz y los residuos orgánicos de vertederos, entre otros.

La molécula de CH_4 presenta una estructura tetraédrica y por lo tanto sus grados de libertad vibracionales son $(3N-6)$, es decir presenta nueve modos vibracionales: cuatro vibraciones de tensión y cinco vibraciones de flexión. Las vibraciones de tensión C-H ocurren fuera de la región del IR térmico, en cambio las vibraciones de flexión H-C-H absorbe a $7,7 \mu\text{m}$, cerca del límite de la ventana del IR térmico, por lo que sí absorbe IR en esta región.

En la figura 6 se muestra la estructura tetraédrica del CH_4 y la unión de sus átomos mediante enlaces covalentes con sus respectivas densidades electrónicas, también se indica el momento dipolar de la molécula, cuyo valor es 0.

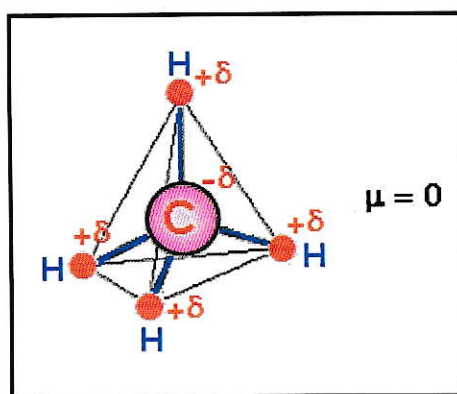


Figura 6. Estructura molecular del metano.

1.3.3 Oxido Nitroso.

El óxido nitroso (N_2O) es un GEI que tiene 298 veces la capacidad de retención del calor que el CO_2 . Es producido naturalmente por microorganismos en los procesos de nitrificación-desnitrificación del suelo o bien se libera naturalmente de los océanos. También es causado por el hombre debido a la utilización de fertilizantes agrícolas a base de nitrógeno, la quema de combustibles fósiles y diversos procesos industriales como el tratamiento de residuos. Este gas asciende hasta la estratósfera, donde cada molécula absorbe luz UV y se descompone a N_2 y O_2 , o bien reacciona con átomos de O para formar otros gases.

La molécula de N_2O presenta una estructura lineal y absorbe radiación térmica a la misma longitud de onda que el metano. Su vibración de flexión absorbe en el IR a los $8,6 \mu\text{m}$, dentro de la ventana del espectro y una de las vibraciones de tensión de enlace está centrada en $7,8 \mu\text{m}$.

En la figura 7 se muestra una representación química del N_2O y los híbridos de resonancia con sus respectivas cargas formales.

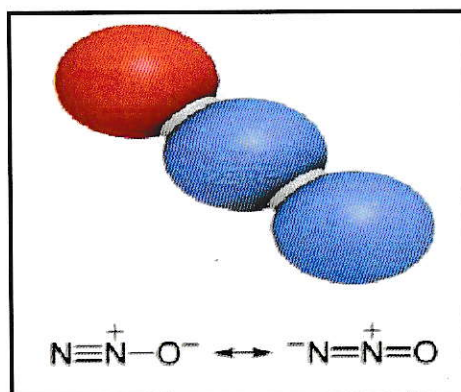


Figura 7. Representación química del óxido nitroso.

Los dipolos de estas estructuras contribuyentes tienen orientación opuesta, por lo tanto el momento dipolar resultante de la molécula es muy pequeño, $\mu = 0,16 \text{ D}$.

En la tabla 1 se indican las propiedades físicas y químicas de los tres GEI citados anteriormente.

Tabla 1: Propiedades físicas y químicas de los GEI de mayor emisión hacia la atmósfera.

Propiedades Físicas y Químicas	Gases de Efecto Invernadero		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Aspecto Físico	Gas ligeramente tóxico, inodoro e incoloro.	Gas apolar altamente inflamable, inodoro e incoloro.	Gas volátil, incoloro, con olor dulce y levemente tóxico.
Densidad (Kg/m ³)	1,870	0,717	1,223
Masa Molar (g/mol)	44,01	16,04	44,01
Estructura Molecular	Lineal, formada por un átomo de C ligado a dos átomos de O.	Tetraédrica, formada por un átomo de C ligado a cuatro átomos de H mediante enlaces covalentes.	Lineal, formada por la unión de dos átomos de N y uno de O.
Punto de Fusión (°C)	- 78	- 183	- 91
Solubilidad en Agua (Kg/m ³)	1,45	Baja	Baja

1.3.4 Hidrofluorocarbonos.

Los hidrofluorocarbonos (HFCs) son compuestos químicos derivados del alcano que tienen flúor como sustituto de algunos hidrógenos. Se comenzaron a utilizar en reemplazo de los clorofluorocarbonos (CFCs) que destruían y agotaban la capa de ozono, por lo que se produjo un gas fluorado, que no tuviera cloro, fuera menos persistente en la atmósfera (tiempo de vida en un rango de 1,4-270 años) y que no dañara la capa de ozono.

En la actualidad estos gases se pueden encontrar en los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado, bombas de calor, agentes espumantes, en extintores de incendios, como propelentes en aerosoles y en disolventes.

Un ejemplo de este tipo de HFC es el gas refrigerante R-134a (CH_2FCF_3) que se comenzó a utilizar en reemplazo del gas refrigerante CFC R-12 (CCl_2F_2).

En la figura 8 se muestra la representación química y estructura molecular del gas R-134a, cuyo nombre IUPAC es 1,1,1,2-Tetrafluoroetano.

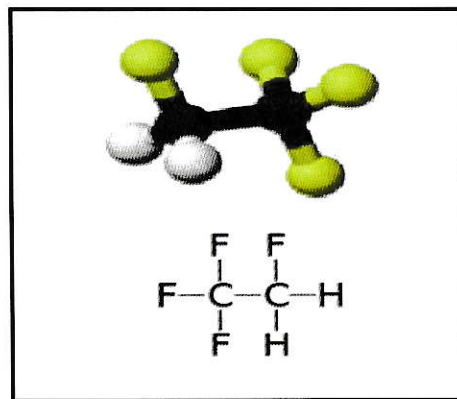


Figura 8. Representación química del gas R-134a.

Este gas es un HFC que posee un PCG de 1430 para un tiempo de 100 años y su tiempo de vida útil es de 14 años, sin embargo su contribución en el calentamiento global es mínima en comparación con los otros GEI.

1.3.5 Perfluorocarbonos.

Los perfluorocarbonos (PFCs) son sustancias químicas sintéticas compuestas exclusivamente de carbono y flúor, lo que da origen a compuestos inertes, química y

biológicamente, inmiscibles en agua y lípidos. Se observan como gases a T° ambiente los PFCs con hasta 4 átomos de C (C_4F_{10}), a partir de 5 átomos su estado físico es líquido. Esta composición influye en sus propiedades físicas y químicas, lo que permite que estos compuestos se utilicen y apliquen en distintos sectores como la electrónica, la química y la medicina.

Los perfluorocarbonos (PFCs) como el perfluorometano (CF_4) y el perfluoroetileno (C_2F_6), tienen tiempos de residencia atmosférica extremadamente largos y absorben gran cantidad de radiación infrarroja (la absorción de la vibración de tensión C-F ocurre a la longitud de onda de $9\ \mu m$), por lo tanto, estos compuestos, aún en cantidades relativamente reducidas, tienen la posibilidad de influir sobre el clima hasta en un futuro muy lejano, ya que su tiempo de vida útil se encuentra en un rango de 1000-50.000 años. (Cuatecontzi & Gasca, 2007)

En la figura 9 se muestra la representación química y estructura molecular del perfluorometano, cuyo nombre IUPAC es Tetrafluorometano y su nombre comercial es Freón-14.

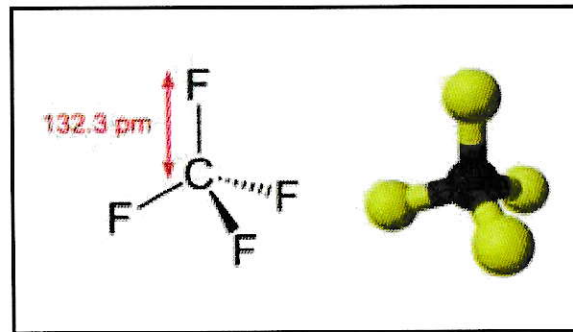


Figura 9. Representación química del perfluorometano.

Este PFC tiene un PCG de 7390 en un tiempo de 100 años y permanece en la atmósfera 50000 años. (IPCC, 2007)

1.3.6 Hexafluoruro de azufre.

El hexafluoruro de azufre (SF_6) es el GEI con el PCG más elevado de todos, 22800, es decir, que atrapa el calor 22800 veces más efectivamente que el CO_2 ; sin embargo, debido a que posee una alta densidad éste no asciende a las altas capas de la atmósfera, y sumado a su baja concentración en ella (en torno a los 5-10 ppt) su contribución al calentamiento global es mínima. Tiene un tiempo de permanencia en la atmósfera de 3200 años, por esa razón es un GEI considerado en el Protocolo de Kyoto.

Este gas es utilizado como aislante eléctrico especialmente en sistemas de alta tensión, ya que posee una constante dieléctrica alta, se aplica en cirugía ocular y en procesos siderúrgicos como gas de recubrimiento en la producción de magnesio y aluminio, entre otros usos.

En la figura 10 se puede observar la estructura octaédrica de la molécula SF_6 , la cual consiste en seis átomos de flúor ligados a un azufre como átomo central mediante enlaces covalentes. Corresponde a una de las excepciones en la regla del octeto para la estructura de Lewis.

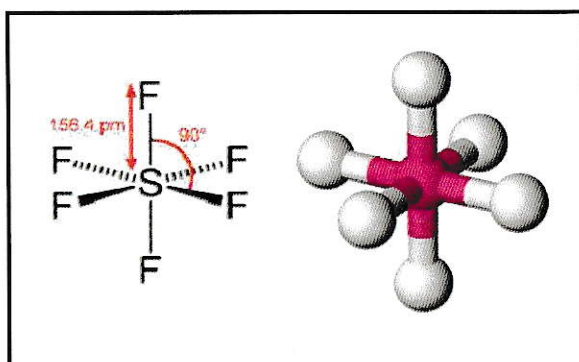


Figura 10. Representación química del hexafluoruro de azufre.

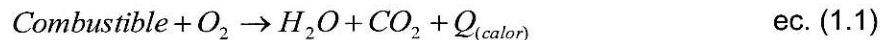
1.4 Relación entre el CO₂ y los procesos de combustión de combustibles fósiles.

El CO₂ es el GEI de mayor impacto en el calentamiento global y el más emitido hacia la atmósfera, ya que se obtiene como producto en la combustión de los combustibles fósiles, principalmente de los derivados del petróleo, los que son utilizados para el transporte, suministro de energía y calefacción.

La combustión es una reacción química que consiste en la oxidación de un elemento con desprendimiento de calor, interviniendo en la misma el combustible y el oxígeno como comburente.

Existen dos tipos de combustión: combustión completa y combustión incompleta.

La reacción química básica para el proceso de combustión completa se presenta a continuación:



En el caso del proceso de combustión incompleta, el oxígeno actúa como un reactivo limitante, por lo que la reacción química será distinta, tendrá otros subproductos de la combustión, como por ejemplo hidrocarburos no quemados, carbono (C), hidrogeno (H) y monóxido de carbono (CO). La reacción química básica será la siguiente:



Esta reacción también es exotérmica, es decir que libera calor, pero la cantidad de éste será menor que en el caso de la combustión completa. Por esa razón, el CO resultante podría entrar nuevamente en combustión y desprender más calor, generando además CO₂. La reacción involucrada es la siguiente:



Las actividades humanas que más aportan emisiones de CO₂ a la atmósfera, son la quema de los combustibles fósiles y el uso de ellos en la generación de energía, contribuyendo alrededor del 70-75% de estas emisiones. El 25% restante es provocado por las emisiones de los tubos de escape de los vehículos mayormente. Sin embargo, la reacción que realmente se produce en el reactor de combustión, incluye las impurezas de otros componentes, dando como resultado la emisión de otros gases contaminantes como: NO_x (NO y NO₂), CO y SO₂.

En comparación con las emisiones de CO₂, el aporte de los otros GEI nombrados anteriormente es mínimo, por lo que en la determinación de la huella de carbono, lo que se obtiene como resultado son toneladas de CO₂ equivalente, donde van incluidos los otros gases mediante factores de emisión.

1.5 Huella de carbono.

La huella de carbono es una herramienta que permite medir las emisiones de GEI producidas por una actividad específica. Su análisis se basa en metodologías reconocidas internacionalmente que representan un estándar a nivel mundial.

La huella de carbono, entendida bajo el concepto de gestión ambiental y de Responsabilidad Social (ISO 26000), responde a un cambio global en la forma actual de hacer negocios. Describe la cantidad de emisiones de GEI causadas por la producción de un producto, por una actividad en particular o una institución (BSi_Group 2008), convirtiéndose de esta manera en una herramienta que permite a las instituciones, empresas y la ciudadanía, evaluar su contribución con respecto al cambio climático, y en consecuencia al calentamiento global.

Debido a la importancia que tiene el cambio climático en la agenda internacional, la huella de carbono está siendo ampliamente utilizada en diversos países, sobre todo en Estados Unidos y Europa, lo que está generando que el uso de este indicador se amplíe hacia aquellos países que no han avanzado en este ámbito, como es el caso de Chile.

Según un informe emitido por la Administración de Información de Energía estadounidense (EIA, por sus siglas en inglés), Chile es uno de los países de Latinoamérica que incrementó sus emisiones de dióxido de carbono entre 2010 y 2011, ocupando el lugar 43 en el ranking publicado por dicha entidad. Es por esta razón, que se hace necesario medir la huella de carbono, para que los países tomen conciencia del daño que provocan y las organizaciones comiencen a gestionar sus emisiones.

La huella de carbono también puede ser usada como una herramienta para optimizar procesos, especialmente aquellos referidos al uso eficiente de materias primas y energía. Además, contribuye a la cuantificación, reducción y neutralización de las emisiones de CO₂ en productos y organizaciones en el marco de la mitigación del cambio climático, la identificación de oportunidades de ahorro de costos en las organizaciones y la demostración ante terceros de los compromisos de la organización con la responsabilidad social, a través de sus requisitos en mitigación del cambio climático (AENOR 2013).

1.6 Metodología GHG Protocol.

Existen distintas metodologías para la estimación de las emisiones de GEI, desde guías técnicas, herramientas y normas, como la ISO 14064-1, PAS 2050, entre otras.

Constructora El Sauce empleó para su cálculo, la metodología de la guía técnica GHG Protocol, la cual sirve para cuantificar e informar las emisiones de GEI, tiene un alcance corporativo, y además establece límites tanto operacionales como organizacionales. La ventaja de esta metodología es que se puede identificar en qué área la huella de carbono es elevada y de este modo aplicar planes de mitigación o reducción para las emisiones de GEI en cada uno de sus procesos.

1.6.1 Principios de contabilidad y reporte de GEI bajo GHG Protocol.

Los principios para la contabilidad y el reporte de las emisiones de GEI, están basados en los principios de la contabilidad financiera. Intentan fortalecer y ofrecer orientación, para asegurar que la información ofrecida sea verdadera, creíble y represente una fiel imagen de las emisiones de GEI de la empresa (GHG Protocol, 2005). Estos principios son los siguientes:

- **Relevancia:** El cálculo de emisiones debe abarcar todas las actividades de la empresa, de tal manera que se reflejen sus emisiones de manera apropiada. Además los resultados del Inventario de Emisiones de GEI debe tener información relevante para ser considerada como un elemento principal en la toma de decisiones, tanto dentro como fuera de la empresa.
- **Integridad y totalidad:** Para el cálculo de la huella de carbono deben considerarse todas las fuentes de emisiones de GEI. En el supuesto de que se excluyan algunas fuentes del cálculo esto debe ser justificado debidamente.
- **Consistencia:** Para el cálculo deben utilizarse metodologías consistentes a lo largo del tiempo. Un cálculo consistente, junto con la limitación organizacional y

la metodología, son de suma importancia para evaluar el desempeño de la empresa y sus tendencias. Toda desviación de los factores establecidos, los límites organizacionales, etc. debe ser expuesta, documentada y justificada debidamente.

- **Transparencia:** Tanto los cálculos como la información de los procesos y actividades que realiza Constructora El Sauce se deberán presentar en forma concisa, neutral y coherente. Además los métodos y factores empleados o cualquier suposición necesaria para el cálculo deben estar debidamente documentados.
- **Precisión:** Debe quedar asegurado que la cuantificación de las emisiones se ajusta lo máximo posible a la realidad, reduciendo al mínimo el margen de error y la incertidumbre.

En función a lo explicado anteriormente, se llevaron a cabo cada una de las etapas de esta metodología y se tomaron en cuenta todos los principios, con el fin de obtener resultados fidedignos y representativos de las emisiones que generan los procesos u operaciones de la empresa. De este modo se podrán determinar las estrategias y planes de acción adecuados para cada uno de los proyectos asociados a Constructora El Sauce.

Es importante destacar, que si las empresas comienzan a limitar o reducir sus niveles de emisión de GEI, muchas de las proyecciones descritas anteriormente a causa del cambio climático no se concretarán. Por lo tanto, es deber de cada humano u organización tomar conciencia y conocimiento del tema, además de esforzarse por

controlar y disminuir al máximo sus emisiones en el presente, con el fin de evitar los graves efectos que éstas podrían tener en el futuro.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo General.

Realizar un inventario de emisiones y determinar la huella de carbono de Constructora El Sauce, basada en la guía técnica GHG Protocol, considerando el consumo de combustibles fósiles, el consumo eléctrico generado en todas sus operaciones y los vuelos aéreos realizados por el personal como las mayores fuentes de emisión.

1.7.2 Objetivos Específicos.

- Proponer una metodología de cálculo de huella de carbono adecuada para la empresa.
- Establecer los límites organizacionales y operacionales, de acuerdo a las operaciones, los proyectos de la empresa y a las fuentes de emisiones.
- Calcular las emisiones de GEI mediante la aplicación de factores de emisión, desde el año 2008 al 2012 y realizar el inventario de emisiones, especificando para cada uno de los procesos, alcances de las actividades y proyectos de la empresa.
- Identificar oportunidades de mejoras en los procesos, actividades u proyectos, desarrollando estrategias y planes de acción para concretarlas.
- Implementar la huella de carbono como herramienta de gestión y de ese modo, ejecutar un seguimiento de las emisiones a través del tiempo y en forma continua.

1.8 Alcances y limitaciones.

1.8.1 Alcances del estudio.

Los proyectos y contratos incluidos en este estudio fueron aquellos designados de mayor impacto para el medio ambiente, es decir, los proyectos con mayor consumo de petróleo diesel y viajes aéreos del personal asociado a las grandes mineras de cobre del país durante el periodo 2008-2012, las cuales fueron:

- Minera Escondida Ltda. (MEL)
- CODELCO División Andina
- CODELCO División Teniente

1.8.1.1 Proyectos Minera Escondida Ltda.

Los proyectos y contratos asociados a MEL, son aquellos de mayor envergadura y por lo tanto los de mayor consumo, que se muestran en la tabla 2:

Tabla 2: Proyectos de Minera Escondida Ltda en el periodo 2008-2012.

2008	2009	2010	2011	2012
Construcción de relleno sanitario.	Obras civiles misceláneas. (E.B.P.E II)	Servicio tercer peralte muro principal. (T.L.S)	Movimiento de Tierra Masivo. Proyecto K-106.	Construcción de pavimentos y estacionamientos en Campamento 5400
Cruce de vehículos pesados.	Servicio de movimiento de tierra y utilización de maquinaria en la construcción del Pad 2 de óxidos. (O.L.E)	Producción y suministro de áridos para ejecución. (E.O.A.)	Suministro de material Cover, para los niveles 5 al 10 del Pad 2 de óxidos. (O.L.E)	Movimiento de tierra Reacondicionamiento Chancador N° 1. Proyecto K-106
Construcción de pilas de lixiviación Pad 2. (O.L.E)		Servicio de arquitectura, ingeniería y construcción de edificio en Campamento 2000 y edificio Campamento Villa San Lorenzo.	Construcción de veredas y radieres en Campamento 5400.	Producción, selección y transporte de material drenante. (O.L.A.P) .
Construcción de una piscina de emergencia y obras preliminares. (E.B.P.E II)			Peraltamiento espigón del Tranque Laguna Seca. (T.L.S)	Nuevo sistema de drenaje del Tranque Laguna Seca. (T.L.S)
Construcción del Campamento Villa San Lorenzo			Reparación de la piscina dual de hidrometalurgia.	Servicios de preparación de áreas de apilamiento y desplazamiento del Pad 2. (O.L.E)
			Camino de operación, plataforma correa y By-Pass. (B.P.Z)	Movimiento de tierra para la construcción del edificio Casino Campamento 2300
				Instalaciones sanitarias del contrato "Arquitectura, Ingeniería y Construcción del Edificio 12 Villa San Lorenzo".

1.8.1.2 Proyectos CODELCO División Andina.

Para el caso de CODELCO División Andina, los proyectos y contratos asociados son los que se presentan en la tabla 3:

Tabla 3: Proyectos de CODELCO División Andina en el periodo de estudio.

2008	2009
Ampliación de drenes etapa 4 y muro este del Tranque Ovejería.	Obras electromecánicas y barrera hidráulica para intercepción de infiltraciones del Tranque Ovejería.
	Construcción de la Torre de Captación N° 3 del Tranque Ovejería.

1.8.1.3 Proyectos CODELCO División Teniente.

En CODELCO División Teniente, los proyectos y contratos asociados son los que se presentan en la tabla 4:

Tabla 4: Proyectos de CODELCO División Teniente en el periodo de estudio.

2010	2011
Obras para habilitación de instalaciones de faenas. Proyecto de Construcción Plataforma Confluencia.	Construcción de obras civiles, estructurales y eléctricas sub estación El Cobre.

También se incluyeron los consumos de casa matriz Santiago (oficina central) y oficina Antofagasta dentro del periodo en estudio.

1.8.2 Alcances de las emisiones a incluir.

Las emisiones directas e indirectas que se decidieron incluir en este estudio son aquellas indicadas en el GHG Protocol, las cuales fueron las siguientes:

- Emisiones Directas (Alcance 1)
 - Combustible consumido por maquinas y equipos fijos de la empresa o arrendados a terceros.
 - Combustible consumido por maquinaria pesada y camiones de la empresa o arrendados a terceros.
 - Consumo del refrigerante R-134a usado en los sistemas de aire acondicionado de la maquinaria pesada y camiones de la empresa.
- Emisiones Indirectas (Alcance 2)
 - Consumo de electricidad adquirida a un tercero.
- Emisiones Indirectas (Alcance 3)
 - Vuelos aéreos realizados por el personal

1.8.3 Limitaciones del estudio.

Las limitaciones identificadas en este estudio están directamente relacionadas a la metodología, ya que los resultados que se pueden obtener de su aplicación son netamente empíricos, es decir que no son medibles con algún tipo de instrumento, sino que se basan en fórmulas y cálculos que entregan sólo una aproximación del valor real.

Otra limitación encontrada en este estudio está relacionada a los factores de emisión utilizados, ya que estos tienen un grado de incertidumbre asociado y dependerá de si es un factor de emisión local, factor de emisión domestico o factor de emisión internacional. Como no existe un factor de emisión arbitrario aplicable para hacer los cálculos, la selección de los factores de emisión deberá realizarse según prioridad, precisión y disponibilidad de esos valores en el país para calcular la huella de carbono en organizaciones.

También se debe considerar como limitación en este estudio la falta de datos en algunos proyectos, como en el caso de Codelco División Andina y Codelco División Teniente, ya que la empresa no disponía de toda la información en su base de datos para los consumos de petróleos, y fue muy difícil recuperar el 100% de éstos. Por lo tanto esta ausencia de información también generó un grado de incertidumbre en los resultados obtenidos.

CAPITULO II: METODOLOGÍA

La metodología que se eligió para realizar el inventario de emisiones y calcular la huella de carbono en Constructora El Sauce, se rige bajo los principios de la Guía Técnica GHG Protocol.

2.1 Guía Técnica GHG Protocol

El GHG Protocol, desarrollada por el World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales) y el WBCSD (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable), contiene métodos de contabilidad reconocidos, ayuda a establecer los límites que se pueden aplicar a diferentes niveles, tipos o tamaños de organizaciones, y además entrega los enfoques y principios estandarizados para la elaboración de un inventario de emisiones de GEI representativo. Esta guía técnica precisa los límites y los alcances de las emisiones con el fin de garantizar, que en el momento en que las empresas deciden comenzar la contabilidad de sus emisiones, éstas no sean contadas dos veces. Por esto, a nivel organizacional, los límites de emisión son importantes al momento de elaborar un inventario de GEI, ya que dan a las organizaciones coherencia y claridad en las emisiones emitidas al medio ambiente.

Esta herramienta de contabilización es la más utilizada a nivel de empresas, ya que permite entender, cuantificar y gestionar las emisiones GEI. Es la base estructural para el cálculo de emisiones en casi todos los estándares y programas de GEI en el mundo. Se enfoca únicamente en la contabilidad y el reporte de emisiones, no plantea la manera en que deba conducirse posteriormente al proceso de verificación.

2.2 Descripción de la metodología.

La metodología se puede describir mediante las etapas escritas a continuación:

- *Determinación de los límites organizacionales y operacionales del proyecto:* En esta etapa se debe definir el enfoque a aplicar y los alcances de la organización. También se deben identificar las emisiones asociadas a las operaciones y clasificarlas como emisiones directas o indirectas.
- *Seguimiento de las emisiones a través del tiempo:* En esta etapa se elige el año o periodo base y los recálculos de éste, en caso de haber cambios experimentados por la empresa.
- *Identificación y cálculo de las emisiones GEI:* En esta etapa se deben identificar las fuentes de emisiones de GEI y seleccionar un método de cálculo para éstas. También se debe recopilar la información histórica de la empresa: los gastos de combustibles, las facturas de electricidad y la cantidad de viajes en avión realizados por el personal durante el periodo base. Finalmente se deben aplicar las herramientas de cálculo y los factores de emisión correspondientes para generar reportes al nivel corporativo.
- *Desarrollo y presentación del inventario de emisiones:* En esta etapa se estructura el inventario de emisiones de acuerdo a los proyectos involucrados y sus operaciones.
- *Gestión de la calidad del inventario:* En esta etapa se debe diseñar un sistema de gestión de calidad y estructurar un plan de mejoras futuras, mediante el desarrollo de estrategias y planes de acción.
- *Aplicación de planes de acción:* En esta etapa se aplican las medidas para mitigar o reducir las emisiones de GEI.
- *Control y Monitoreo:* En esta etapa se contabilizan las reducciones obtenidas en las emisiones y se generan reportes a la organización de manera continua.

Esquema metodológico en anexo 7.2

2.3 Límites Organizacionales.

2.3.1 Determinación de los límites organizacionales.

En esta etapa se debe definir el enfoque a aplicar, además se debe definir el alcance de la organización cuyas emisiones van a ser contabilizadas.

2.3.2 Definición del enfoque a aplicar.

Existen dos enfoques para fijar los límites de la organización:

- Enfoque de participación accionaria.
- Enfoque de control.

El enfoque de participación accionaria está referido a la contabilización de las emisiones de las empresas donde se cuenta con acciones aunque no se tenga el control de sus operaciones.

El enfoque de control está referido a la contabilización del 100% de las emisiones de GEI atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce el control. Para establecer este control se debe elegir entre dos criterios:

- Control financiero.
- Control operacional.

Una empresa posee control financiero sobre una operación si ésta tiene la habilidad para dirigir las políticas financieras y operacionales de la misma, con el objetivo de obtener beneficios económicos de las actividades de esta última.

Una empresa tiene control operacional sobre una operación si ésta, o alguno de sus subsidiarios, tienen completa autoridad para introducir e implementar sus políticas operacionales en dicha operación.

Como Constructora El Sauce ejerce control sobre todas sus operaciones, se decidió aplicar el enfoque de control, ya que éste se ajusta mejor a las actividades y a las necesidades que enfrenta la empresa en materia de reportes de GEI. Se aplicó además el criterio de control operacional, ya que la empresa tiene plena autoridad para introducir e implementar sus políticas operativas en las operaciones que se realizan.

2.3.3 Definición del alcance de la organización.

Para definir el alcance de la organización se deben considerar todas las actividades y operaciones que realiza la empresa, que generan emisiones de GEI. Por lo tanto las actividades seleccionadas fueron las siguientes:

- Utilización de maquinaria pesada en movimientos de tierra, excavaciones, selección de materiales, transportes y generación de energía.
- Uso de electricidad en instalaciones y oficinas de casa matriz Santiago y Antofagasta.
- Viajes en avión para transporte del personal hacia las faenas.

2.4 Límites operacionales.

2.4.1 Determinación de los límites operacionales.

Una vez que la empresa ha determinado los límites organizacionales, se deben determinar los límites operacionales. Esto involucra la identificación de las emisiones asociadas a sus operaciones, categorizándolas en emisiones directas o indirectas, las fuentes que las generan y su clasificación según los alcances establecidos.

Las emisiones directas son aquellas emitidas desde fuentes que son controladas o que son propiedad de la empresa, por lo cual ellos son responsables de estas emisiones.

Las emisiones indirectas son aquellas a consecuencia de las actividades de la empresa, pero que son emitidas desde fuentes que no son controladas o que no son propiedad de ellos.

Los límites organizacionales y operacionales son explicados en la figura 11:

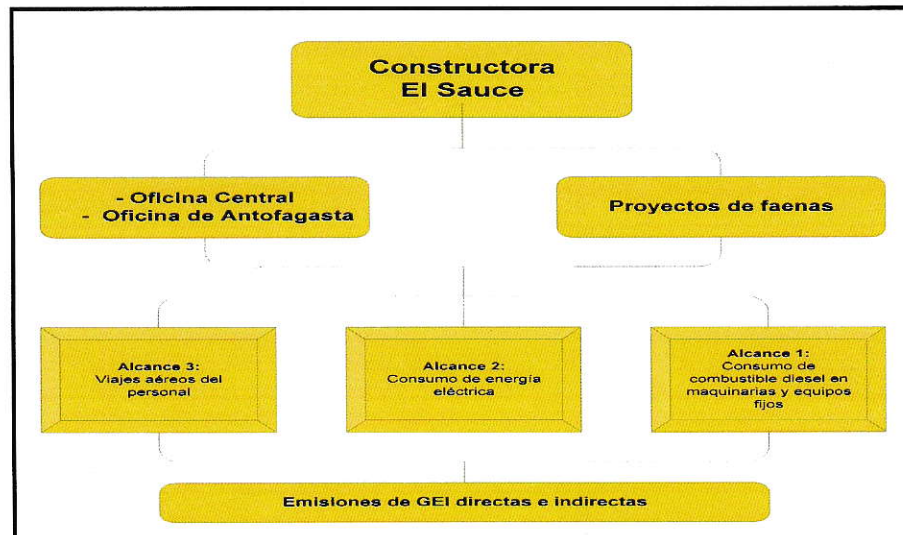


Figura 11. Límites del sistema en Constructora El Sauce.

2.4.2 Fuentes de Emisiones de GEI.

Las fuentes generadoras de emisiones de GEI, de las actividades desarrolladas por Constructora El Sauce son las siguientes.

- Máquinas, equipos o maquinaria fija, maquinaria pesada móvil, camiones y vehículos, ya que utilizan diesel, el cual quemado genera GEI.
- Sistemas de aire acondicionado de las maquinarias utilizadas en faenas.
- Uso de equipos eléctricos y electrónicos, tales como computadoras, impresoras, luces, entre otras.
- Vuelos aéreos, Constructora El Sauce dispone de transporte aéreo para su personal para cuando estos deben viajar a faena.

2.4.3 Clasificación de emisiones según alcances.

Una vez conocidas las fuentes de emisiones de GEI, éstas se deben clasificar de acuerdo a los alcances establecidos en la metodología, los cuales son:

Alcance 1: Emisiones directas de GEI. Debido a las actividades que realiza la empresa, este alcance está referido al consumo de combustibles fósiles, tanto en las fuentes fijas como móviles, debido al uso de maquinaria pesada. También se considera el consumo de refrigerante utilizado en los sistemas de aire acondicionado de maquinarias.

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI. Están asociadas al consumo de electricidad que se genera en la casa matriz de Santiago y en la oficina de Antofagasta.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas de GEI. Son consecuencia de la actividad de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son de su propiedad ni están controladas por ella. En este alcance se consideraron los viajes en avión que realiza el personal.

Para la elaboración del inventario de emisiones y el cálculo de la huella de carbono, se deben considerar siempre el alcance 1 y el alcance 2, de este modo los resultados serán representativos y confiables.

Las emisiones del alcance 3 son opcionales, sin embargo, Constructora El Sauce decidió incluirlas en su inventario, ya que sus emisiones indirectas por vuelos aéreos eran muy relevantes y necesitaban ser contabilizadas.

En la figura 12 se muestra la categoría de cada una de las emisiones de GEI, las fuentes que las generan y los alcances asociados a cada una de éstas.

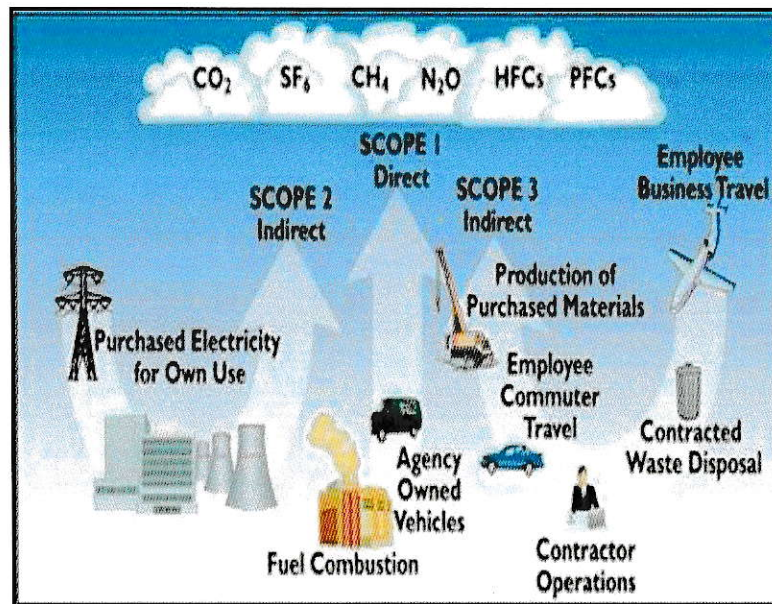


Figura 12. Categoría de emisiones de GEI. (GHG Protocol, 2005)

2.5 Seguimiento de las emisiones a través del tiempo.

2.5.1 Elección del año o periodo base.

Para realizar una comparación significativa y consistente de las emisiones de GEI a través del tiempo, se debe fijar una base de desempeño contra la cual poder comparar las emisiones actuales, denominada a ésta como año o periodo base.

Para la elección del año o periodo base, se debe elegir y reportar uno en donde exista información confiable de emisiones, además se deben especificar las razones que llevaron a la elección de éste.

Constructora El Sauce decidió elegir como periodo base los años consecutivos desde el 2008 hasta el 2012, ya que se tenía la mayor recopilación de datos fidedignos posibles e iban a ser más representativos. A partir de esa información como referencia, se podrá dar cumplimiento y seguimiento a las reducciones de emisiones.

2.5.2 Recálculo de emisiones.

Cuando ocurren cambios estructurales en la empresa, que puedan generar un impacto significativo sobre las emisiones del año o periodo base, éstas se deben recalcular y ajustar a las nuevas condiciones. Estos cambios pueden estar dados principalmente por:

- Fusiones, adquisiciones y desinversiones.
- Incorporación o transferencia al exterior de procesos o actividades generadoras de emisiones.

También se deben ajustar las emisiones del año o periodo base cuando ocurren:

- Cambios en la metodología de cálculo, mejoras en la precisión de los factores de emisión o de los datos de actividad.
- Descubrimiento de errores significativos, o bien de errores mínimos acumulativos, que puedan tener consecuencias relevantes sobre los resultados de las emisiones.

Para evitar inconsistencia en la información reportada, la empresa debe definir alguna política de ajuste para las emisiones del año o periodo base, con el fin de establecer de manera entendible los fundamentos para el recálculo.

Constructora El Sauce no está afecto a muchos cambios estructurales, ya que la empresa controla todas sus operaciones; sin embargo, cuando la cantidad de maquinaria pesada no es suficiente para un proyecto o contrato en el que se está trabajando, se realiza un arriendo a terceros, es decir, la empresa subcontrata maquinarias a otras. Por lo tanto, esta actividad extra incorporada que generará emisiones, al ser frecuente y muy relativa, provocará cambios en los resultados de los cálculos.

Además se deben considerar cambios en la metodología de cálculo, ya que pueden ir variando los factores de emisión a través del tiempo y aumentando su precisión.

2.6 Identificación y cálculo de las emisiones de GEI.

2.6.1 Identificación de las fuentes de emisiones de GEI.

Para poder identificar las fuentes de emisiones se deben categorizar dentro de los límites de la empresa.

En este caso, Constructora El Sauce categorizó las siguientes fuentes de emisiones:

2.6.1.1 Fuentes de emisiones para el alcance 1.

- **Combustión Fija:** combustión de combustible diesel en equipos estacionarios o fijos, como grupos generadores de energía, torres de iluminación, soldadoras, compresores y placas compactadoras.
- **Combustión Móvil:** combustión de combustible diesel en medios de transporte, como camiones, camionetas, maquinaria pesada y rodillos.
- **Emisiones Fugitivas:** liberaciones intencionales o no intencionales, como fugas o pérdidas de refrigerante, debido al consumo de refrigerante en los sistemas de aire acondicionado de las maquinarias.

2.6.1.2 Fuentes de emisiones para el alcance o alcance 2.

- **Consumo de electricidad** proporcionada por el Sistema Interconectado Central (SIC), para oficinas de casa matriz en Santiago y Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) para las oficinas en Antofagasta. Su utilización se designa al uso de equipos eléctricos y electrónicos, tales como computadoras, impresoras y luces entre otras. Los sistemas de aire acondicionado, ubicados en las oficinas, también consumen energía eléctrica.

2.6.1.3 Fuentes de emisiones para el alcance o alcance 3.

- **Traslado en avión** del personal hacia las instalaciones de faenas, desde Santiago a Antofagasta o viceversa y también a otros destinos nacionales como La Serena, Pto. Montt y Concepción entre otras, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

2.6.2 Selección del método de cálculo de las emisiones de GEI.

El método más adecuado y aproximado para calcular las emisiones de GEI, es mediante la aplicación de factores de emisión reconocidos y documentados, ya que éstos relacionan directamente emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión.

2.7 Recolección de datos y elección de factores de emisión.

2.7.1 Recolección de datos.

En esta fase se recopiló la información y datos contables del consumo de combustible diesel para cada maquinaria y equipo usado, durante el periodo 2008 hasta el 2012. Éstos fueron los necesarios para el levantamiento de datos y calcular la huella de carbono y sus emisiones en el alcance 1. Para el consumo eléctrico se trabajó en base a facturas electrónicas recibidas mensualmente en la oficina central de Santiago y en oficinas de Antofagasta, además de los reportes históricos enviados por Chilectra para la contabilización del alcance 2. Para el alcance 3 se reunieron datos de los viajes aéreos que se realizaron y sus respectivos kilómetros recorridos, para el traslado de personal hacia los distintos destinos donde se ubicaban los proyectos e instalaciones de faena.

Para recopilar la información requerida, fue necesario identificar a los responsables del manejo de ésta: Sra Susana Leiva, subgerenta del área Administración y Finanzas, fue la responsable de entregar información del consumo de combustibles por maquinaria y las facturas de consumo de energía eléctrica, la cual fue finalmente gestionada por la Srta Claudia Díaz, jefa de Auditoría. El responsable de

entregar la información de los vuelos realizados por el personal durante el periodo en estudio fue el Sr Gustavo Olaya, subgerente del área de Abastecimiento, pero la información fue gestionada por el Sr Juan González, analista de gestión en abastecimiento.

2.7.2 Elección de los factores de emisión.

Para la elección de los factores de emisión, que se necesitan para calcular las emisiones del alcance 1 referidas al consumo de combustible diesel, se decidió utilizar aquellos entregados por la página de GHG Protocol en la sección de herramientas de cálculo. En este documento aparecen los factores de emisión para cada uno de los GEI por combustible utilizado. Además se consideraron los factores de emisión para combustibles que entrega el Ministerio de Energía en su página web. (Anexo 7.1.1)

Para la elección de los factores de emisión, que se necesitan para calcular las emisiones del alcance 2 referidas al consumo de electricidad, se decidió utilizar los valores que entregaba el Ministerio de Energía de Chile, correspondientes a los factores de emisión de los sistemas eléctricos SIC para Santiago y SING para Antofagasta. Estos valores corresponden a los factores de emisiones promedio anuales, expresadas en toneladas de CO₂ equivalente por MWh consumida. (Anexo 7.1.2)

Debido a que no se realizaron mayores cambios en las termoeléctricas que alimentan al SIC y SING durante los años 2008 y 2009, se utilizaron como referencia los del año 2010 para efectos del cálculo en estos años.

Para la elección de los factores de emisión, que se necesitan para calcular las emisiones del alcance 3 referidas al traslado de personal, se decidió utilizar los valores entregados por la página GHG Protocol en la sección de herramientas de cálculo. En este documento aparecen los factores de emisión de CO₂ para cada tipo de vuelo por distancia recorrida. Como los vuelos fueron de tipo nacional, se consideró sólo este factor de emisión. (Anexo 7.1.3)

Además de conocer los factores de emisión, también se deben considerar los PCG (Potencial de Calentamiento Global). Estos miden la capacidad de retención de calor en la atmósfera que poseen cada uno de los gases de efecto invernadero. Estos valores se aplicaron para calcular el consumo de refrigerante R-134a y también van incluidos en los cálculos de consumo de combustible en fuentes fijas. (Anexo 7.1.4)

2.8 Aplicación de herramientas de cálculo.

El cálculo de las emisiones requiere de múltiples pasos para realizar un inventario preciso y fiable. El GHG Protocol provee de diversas herramientas de cálculo, las cuales se pueden encontrar en su página web. Además categoriza dos principales herramientas de cálculo:

- Herramientas intersectoriales: Son aquellas que pueden ser aplicadas a distintos sectores. Aquí se incluyen: combustión fija, combustión móvil, uso de HFC en refrigeración y aire acondicionado.
- Herramientas sectoriales: Están diseñadas para calcular emisiones en sectores específicos, como aluminio, cemento, pulpa y papel, entre otras.

Dentro de estas herramientas van incluidas las metodologías para realizar el cálculo, referidas para cada uno de los alcances y también los factores de emisión para cada actividad.

2.8.1 Metodologías de cálculo.

Una vez que se tuvo toda la recopilación de información necesaria y elegidos los factores de emisión a utilizar, se levantaron los datos en una planilla Excel y se compartamentalizaron, es decir, se fueron ordenando y distribuyendo de acuerdo a los proyectos, tipos de maquinarias o equipos con sus respectivos modelos, fuentes de emisión, consumos y se clasificaron acorde al alcance correspondiente. (Anexo 7.5 a 7.7)

El CO_{2-eq} es la unidad que refleja el impacto de las emisiones de todos los GEI, incluyendo CO_2 (dióxido de carbono), CH_4 (metano), N_2O (óxido nitroso) y expresa su variación en el impacto del calentamiento global en términos de CO_2 equivalente.

Para el cálculo del alcance 1, referido a consumo de combustible por fuentes fijas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$CO_{2-eq} = [(C \times FE_{CO_2} \times PCG_{CO_2}) + (C \times FE_{CH_4} \times PCG_{CH_4}) + (C \times FE_{N_2O} \times PCG_{N_2O})] \quad \text{ec. (2.1)}$$

Donde:

C: corresponde al consumo en litros de combustible diesel de equipos fijos.

FE: corresponde al factor de emisión para combustible diesel referido a cada uno de los GEI, expresados en Kg/L.

PCG: corresponde al potencial de calentamiento global referido a cada uno de los GEI.

Reemplazando los valores de tablas para FE y PCG la ecuación queda expresada de la siguiente manera:

$$CO_{2-eg} = [(C \times 2,676 \times 1) + (C \times 0,000361 \times 25) + (C \times 0,0000217 \times 298)] \quad \text{ec. (2.2)}$$

A partir de esta ecuación se realizaron los cálculos, luego se convirtió a toneladas de CO_{2-eg} dividiendo por 1000 y se obtuvieron los resultados para el alcance 1 de las fuentes fijas.

Para el cálculo del alcance 1, referido al consumo de combustible diesel por fuentes móviles se utilizó la siguiente ecuación:

$$CO_{2-eg} = C \times FE \quad \text{ec. (2.3)}$$

Donde:

C: corresponde al consumo en litros de combustible diesel de maquinarias y equipos móviles.

FE: corresponde al factor de emisión para combustible diesel referido al CO_2 , expresados en Kg/L.

Reemplazando el valor del factor de emisión, la ecuación queda expresada así:

$$CO_{2-eg} = C \times 2,676 \quad \text{ec. (2.4)}$$

A partir de esta ecuación se realizaron los cálculos, luego se convirtió a toneladas de CO_{2-eg} dividiendo por 1000 y se obtuvieron los resultados para el alcance 1 de las fuentes móviles.

Para el cálculo del alcance 1, referido al consumo de combustible gasolina 93 por fuentes móviles, exclusivamente de camionetas, se utilizó la misma ecuación 2.3, sin

embargo se modificó el factor de emisión por el de combustible gasolina 93` quedando expresada la siguiente ecuación:

$$CO_{2-eg} = C \times 2,241 \quad \text{ec. (2.5)}$$

A partir de esta ecuación se realizaron los cálculos, luego se convirtió a toneladas de CO_{2-eg} dividiendo por 1000 y se obtuvieron los resultados para el alcance 1 por el uso de las camionetas.

Para el cálculo del alcance 1 referido a la pérdida de refrigerante se utilizó la siguiente ecuación:

$$tCO_{2-eg} = C(Kg) \times FC \times PCG \quad \text{ec. (2.6)}$$

Donde:

C (Kg): corresponde al consumo del refrigerante R-134a en kilogramos.

FC: corresponde al factor de conversión de unidades de Kg a toneladas.

PCG: corresponde al potencial de calentamiento global referido al refrigerante R-134a.

Reemplazando los valores la ecuación queda expresada de la siguiente forma:

$$tCO_{2-eg} = C(Kg) \times 1 \times 10^{-3} (ton / Kg) \times 1430 \quad \text{ec. (2.7)}$$

Utilizando esta ecuación se obtienen los resultados para el alcance 1 de las emisiones fugitivas.

En el cálculo del alcance 2 relacionado al consumo de energía eléctrica la ecuación utilizada fue la siguiente:

$$CO_{2-eg} = C(KWh) \times FE(tCO_{2-eg} / MWh) \quad \text{ec. (2.8)}$$

Donde:

C (KWh): corresponde al consumo de energía eléctrica expresado en KWh.

FE: corresponde al factor de emisión debido al consumo de energía eléctrica para el SIC o SING según corresponda, expresado en toneladas de CO₂ equivalente por MWh.

Mediante esta ecuación se realizaron los cálculos para la obtención del alcance 2, aplicando el factor de emisión según el año correspondiente, para el periodo 2008-2012.

Finalmente para la obtención del alcance 3, relacionado a los viajes aéreos del personal, se utilizó la siguiente ecuación:

$$EmisionesCO_2 = d(Km) \times FE(KgCO_{2-e} / Km / pasajero) \times N^{\circ} pasajeros \quad ec. (2.9)$$

Donde:

d (Km): corresponde a la distancia recorrida en Km por el avión durante el vuelo, según la ruta de destino.

FE: corresponde al factor de emisión referido a los viajes aéreos, expresado en Kg CO_{2-e}/Km recorridos/pasajero.

N° pasajeros: corresponde a la cantidad de trabajadores de la empresa que van como pasajeros en el avión.

Haciendo uso de todas las ecuaciones anteriormente expresadas, se desarrollaron los cálculos y se obtuvieron todas las emisiones de GEI en relación al alcance 1, alcance 2 y alcance 3 para el periodo comprendido entre los años 2008 al 2012. De esta manera se pudo estimar la huella de carbono correspondiente al periodo en estudio.

2.9 Incertidumbre asociada a la metodología.

2.9.1 Calidad e incertidumbre en el inventario.

Al momento de comenzar a elaborar el inventario, se pueden encontrar ciertas inconsistencias en la estimación de las emisiones de GEI, especialmente las relacionadas con los factores de emisión o bien con los métodos de cálculo utilizados, ya que no existe un factor de emisión o método específico y arbitrario para realizar el cálculo de la huella de carbono.

La incertidumbre se define como el error asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de valores que razonablemente pueden ser atribuidos a la cantidad medida (varianza de la muestra o coeficiente de variación).

Esta incertidumbre puede afectar la calidad del inventario o la precisión de los datos, la cual está asociada a los principios de contabilidad que presenta la metodología: relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión.

El inventario de emisiones se llevó a cabo considerando estos cinco principios, con la finalidad de que la calidad de éste no fuese cuestionable.

Las incertidumbres asociadas a los inventarios de GEI son las siguientes:

- Incertidumbre científica: no existe un entendimiento científico absoluto sobre procesos de emisión o remoción de GEI
- Incertidumbre de la estimación: relacionada a los datos proporcionados y las metodologías de cálculo.
- Incertidumbre de los parámetros: relacionada a los datos de actividad o factores de emisión.
- Incertidumbre del modelo: asociada a ecuaciones o modelos matemáticos.

De todos los tipos de incertidumbre anteriormente descritas, la única que se puede llegar a determinar mediante un análisis estadístico, una determinación de la precisión del equipo de medición o bien de valoraciones expertas es la incertidumbre de parámetros. Por lo tanto, es la más accesible de estimar para la mayoría de las empresas que desean realizar un inventario corporativo de GEI; sin embargo, en la mayoría de los casos las empresas deberán recurrir a una evaluación de expertos para cuantificarla. El problema que existe con esta evaluación es la dificultad para aplicarla de manera consistente e integral a todos los parámetros, categorías de fuente o empresas, por lo que hará de cualquier estimación de la incertidumbre imperfecta, relativa y no se podrá interpretar como una medida objetiva de la calidad del inventario.

2.10 Desarrollo y presentación del inventario de emisiones.

A partir de los resultados obtenidos se estructuró el inventario de emisiones, de acuerdo a los proyectos involucrados y sus operaciones, para una mejor comprensión e identificación de las oportunidades de mejoras en los procesos, actividades o proyectos y también para un análisis más comparativo de las emisiones; de esa manera se pudieron desarrollar las estrategias y aplicar futuros planes de acción para reducirlas.

De este modo, la empresa se verá facultada para dar a conocer su huella de carbono y presentar un inventario de emisiones anual mediante reportes públicos de emisiones de GEI, en la cual se presente información relevante, completa, consistente, precisa y transparente, como por ejemplo, los límites establecidos tanto organizacionales como operacionales, indicando las fuentes de emisión consideradas y sus respectivos alcances (alcance 1, alcance 2 y alcance 3).

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1 Resultados del alcance 1.

Para la obtención de los resultados del alcance 1, referidos al consumo de combustible por combustión en fuentes fijas, se utilizó la ecuación (2.2) para el cálculo y se obtuvo las emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO₂ equivalente. En las tablas 5 y 6 se muestran las emisiones de GEI anuales debido al consumo de combustible diesel de cada uno de los equipos y máquinas fijas que posee o arrienda a terceros Constructora El Sauce, respectivamente.

Se hace esta distinción para poder comparar la cantidad de emisiones de GEI en cada uno de los equipos, ya sean propios o de arriendo a terceros, con la finalidad de identificar el de mayor emisión, sus motivos y la posibilidad de disminuir su uso o mejorar su rendimiento.

Tabla 5: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en equipos fijos propios de Constructora El Sauce durante el periodo 2008-2012.

Equipos Fijos	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
Compresor	---	---	---	1,36	0,59
Grupo generador	27,98	97,20	146,58	206,63	184,98
Torre de Iluminación	39,2	124,4	75,07	131,83	158,86
Soldadora Lincoln COM 500	---	2,26	---	---	---
Placa Compactadora DPU 4045	0,04	1,48	7,14	0,19	0,083
Planta Seleccionadora PS-800	94,71	22,62	24,33	14,39	3,64
Total	161,93	247,96	253,12	354,4	348,15

Nota: Las celdas vacías (---) señalan a los equipos fijos que no fueron utilizados en ese año de estudio.

Tabla 6: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en equipos fijos arrendados a terceros durante el periodo 2008-2012.

Equipos Fijos	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
Compresor	---	2,16	---	5,32	4,17
Grupo generador	76,98	126,38	108,42	425,06	522,1
Torre de Iluminación	2,4	11,70	116,17	178,26	340,19
Batea	---	20,43	15,34	---	---
Soldadora Lincoln COM 500	20,77	11,04	8,99	16,20	14,12
Pavimentadora	---	---	---	---	4,83
Perforadora	---	---	---	---	82,62
Placa Compactadora DPU 4045	0,11	2,94	---	0,29	0,083
Planta Seleccionadora PS-800	---	---	---	2,80	---
Equipos menores	---	---	11,81	8,96	---
Total	100,26	174,65	260,73	636,89	968,11

Nota: Las celdas vacías (---) señalan a los equipos fijos que no fueron utilizados en ese año de estudio.

En relación a los resultados del alcance 1, referidos al consumo de combustibles por fuentes móviles, se utilizó la ecuación (2.4) para el cálculo y se obtuvieron las emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO₂ equivalente. Las tablas 7 y 8 muestran las emisiones de GEI anuales debido al consumo de combustible diesel de cada una de las maquinarias pesadas, camiones y vehículos que tiene la empresa, respectivamente. Las tablas 9 y 10 muestran las emisiones de GEI anuales debido al consumo de combustible diesel de cada uno de las maquinarias pesadas, camiones y vehículos que arrienda a terceros Constructora El Sauce, respectivamente.

Tabla 7: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en maquinaria pesada propia durante el periodo 2008-2012.

Maquinaria Pesada	2008 (tCO_{2-e})	2009 (tCO_{2-e})	2010 (tCO_{2-e})	2011 (tCO_{2-e})	2012 (tCO_{2-e})
Bulldozer	122,21	190,11	601,93	537,18	390,12
Cargador Frontal	418,51	585,09	440,78	575,47	673,17
Excavadora	737,69	799,62	703,63	943,63	1073,77
Mini Cargador	---	---	---	11,95	20,99
Motoniveladora	269,28	449,9	578,32	562,87	597,34
Retroexcavadora	21,82	45,11	28,38	24,31	30,76
Rodillo	138,64	115,59	238,49	356,48	293,6
Total	1708,15	2185,42	2591,53	3011,89	3079,75

Tabla 8: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en camiones y vehículos propios durante el periodo 2008-2012.

Camiones y Vehículos	2008 (tCO_{2-e})	2009 (tCO_{2-e})	2010 (tCO_{2-e})	2011 (tCO_{2-e})	2012 (tCO_{2-e})
Camión Aljibe 15000 L	68,74	11,27	23,53	10,50	2,16
Camión Aljibe 18000 L	75,10	81,72	13,26	17,16	18,28
Camión Aljibe 24000 L	98,12	254,97	400,32	423,60	333,36
Camión Aljibe 30000 L	---	---	---	270,41	166,42
Camión Mantenición 10000 L	27,36	46,24	53,09	72,15	70,98
Camión Petróleo 5000 L	20,13	41,69	49,14	68,06	34,17
Camión Pluma 18 Ton.	42,30	35,30	23,87	10,27	4,71
Camión Tolva 14 m ³	708,92	867,95	823,93	861,34	490,29
Camión Tolva 20 m ³	389,67	260,02	888,26	1808,15	1928,47
Camión Tracto 50 Ton	78,84	60,98	74,88	69,96	123,64
Total	1509,18	1660,14	2350,28	3611,60	3172,48

Nota: Las celdas vacías (---) señalan a las maquinarias pesadas y camiones que no fueron utilizados en el periodo de estudio.

En las tablas 9 y 10 se muestra en detalle los tipos de maquinaria pesada, camiones y vehículos que arrienda la empresa a terceros, lo cual ayudó a comparar sus emisiones y usos en relación a los propios; de este modo se podrán reconocer las posibles mejoras en los procesos y rendimientos de éstas.

Tabla 9: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en maquinaria pesada arrendada a terceros durante el periodo 2008-2012.

Maquinaria Pesada	2008 (tCO_{2-e})	2009 (tCO_{2-e})	2010 (tCO_{2-e})	2011 (tCO_{2-e})	2012 (tCO_{2-e})
Bulldozer	1167,1	1465,85	1615,64	2020,71	2138,78
Cargador Frontal	71,44	45,34	553,47	1194,46	776,99
Excavadora	622,13	782,41	710,96	2255,9	1311,7
Mini Cargador	0,30	25,45	0,8	13,81	11,15
Motoniveladora	448,23	376,78	370,74	539,68	391,07
Retroexcavadora	5,20	34,66	42,36	79,23	44,83
Rodillo	170,87	160,59	112,61	108,66	83,36
Sideboom	---	---	---	23,13	7,98
Manipulador Telescópico	---	0,42	---	6,69	2,19
Grúa	---	9,34	13,09	69,86	42,34
Barredora Motorizada	---	---	---	---	0,15
Total	2485,27	2900,84	3419,67	6312,13	4810,54

Tabla 10: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de diesel en camiones y vehículos arrendados a terceros durante el periodo 2008-2012.

Camiones y Vehículos	2008 (tCO_{2-e})	2009 (tCO_{2-e})	2010 (tCO_{2-e})	2011 (tCO_{2-e})	2012 (tCO_{2-e})
Camión Aljibe 15000 L	8,02	8,55	---	---	---
Camión Aljibe 18000 L	129,60	14,63	67,33	213,84	121,72
Camión Aljibe 24000 L	---	6,58	51,78	45,50	64,74
Camión Aljibe 30000 L	---	---	---	131,05	232,24
Camión Mantención 10000 L	21,54	10,22	13,10	9,13	5,96
Camión Petróleo 5000 L	8,87	4,83	13,98	5,87	44,76
Camión Orgánico	---	---	---	19,82	46,42
Camión 3/4	---	---	---	3,37	18,49
Camión Pluma 18 Ton.	15,95	37,31	42,02	147,72	161,60
Camión Tolva 14 m ³	111,37	199,82	84,27	9,13	10,44
Camión Tolva 20 m ³	371,42	702,77	773,52	1629,1	561,81
Camión Tracto 50 Ton	9,11	9,04	25,97	39,02	11,62
Rampas Frigoríficas	---	---	---	---	12,22
Camionetas	15,59	52,52	208,85	25,17	38,25
Buses	---	59,72	165,32	153,77	277,73
Varios	---	---	---	---	24,25
Total	691,48	1106,00	1446,14	2432,49	1632,25

Nota: Las celdas vacías (---) señalan a las maquinarias pesadas y camiones que no fueron utilizados en el periodo de estudio.

En relación al alcance 1, referido al consumo de combustible por fuentes móviles, exclusivamente de ciertas camionetas que utilizan gasolina 93` como combustible, se utilizó la ecuación (2.5) para el cálculo y se obtuvieron las emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO₂ equivalente.

En la tabla 11 se presentan las emisiones de GEI anuales debidas al consumo de gasolina 93` durante el periodo 2008-2012.

Tabla 11: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de gasolina 93` en camionetas durante el periodo 2008-2012.

Camionetas	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
Camionetas	23,28	28,14	32,40	31,45	---

Nota: La celda vacía (---) indica falta de información en ese año.

De acuerdo a los cálculos obtenidos para el alcance 1, relacionados al consumo de refrigerante y haciendo uso de la ecuación (2.7), los resultados obtenidos se expresan en toneladas de CO₂ equivalente. En la tabla 12 se presentan las emisiones de GEI anuales debido al consumo del refrigerante R-134a, utilizado en el aire acondicionado de las maquinarias pesadas y camiones, en el periodo comprendido del 2008 al 2012.

Tabla 12: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo del refrigerante R-134a durante el periodo 2008-2012.

Emisiones fugitivas	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
R-134 a	128,18	120,48	136,71	107,82	---

Nota: La celda vacía (---) indica falta de información en ese año.

3.2 Resultados del alcance 2.

Para la obtención de los resultados del alcance 2, referidos al consumo de electricidad, se utilizó la ecuación (2.8) para el cálculo y se obtuvieron las emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO₂ equivalente. En la tabla 13 se muestra el consumo de energía eléctrica de las oficinas ubicadas en casa matriz Santiago (Oficina Central) y Antofagasta (Oficina Antofagasta) de Constructora El Sauce.

Tabla 13: Emisiones de GEI anuales generadas por el consumo de energía eléctrica durante el periodo 2008-2012.

Oficinas	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
Casa Matriz	12,78	14,05	17,58	20,25	26,77
Antofagasta	---	---	---	4,41	42,61

Nota: La celda vacía (---) indica información inexistente en esos años.

3.3 Resultados del alcance 3.

Para la obtención de los resultados del alcance 3, referidos a los vuelos aéreos realizados por el personal, se utilizó la ecuación (2.9) para el cálculo y se obtuvieron las emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO₂ equivalente.

Para una mayor comprensión de las rutas de los vuelos realizados por el personal, se ordenaron en relación a los kilómetros en línea recta recorridos entre las ciudades de origen y destino, considerando como doble distancia recorrida los pasajes ida y vuelta.

En la tabla 14 se muestran las rutas de los vuelos realizados en el periodo comprendido del 2008 al 2012 por el personal de la empresa.

Tabla 14: Emisiones de GEI anuales debido a los vuelos realizados por el personal y sus respectivas rutas durante el periodo 2008-2012.

Rutas de vuelo	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
Antofagasta-Arica	0	0	0,59	5,93	8,69
Arica-Santiago	0,57	0	4,86	6,87	3,43
Iquique-Antofagasta	0,26	1,71	0	6,44	4,47
Iquique-Santiago	0,25	0	3,04	1,01	0,51
Santiago-Antofagasta	162,71	182,76	266,36	2169,9	2706,2
Calama-Antofagasta	0,07	0	0	0,03	0
Calama-Santiago	6,79	1,91	4,46	3,40	1,91
Copiapó-Santiago	0	0	0,47	0,70	0,93
Copiapó-Antofagasta	0	0	0,14	0	0
La Serena-Santiago	0	0,21	4,06	4,88	1,92
Antofagasta-La Serena	12,28	22,87	39,13	120,15	130,14
Concepción-Santiago	0,15	4,45	5,05	6,98	5,35
Temuco-Santiago	0	0	1,68	1,15	2,94
Puerto Montt-Santiago	0,31	0,53	1,88	0,94	4,86
Total	183,39	214,54	331,72	2328,40	2871,36

Haciendo un resumen de todos los resultados obtenidos en todos los alcances se obtiene la tabla 15:

Tabla 15: Resumen de las emisiones de GEI y sus respectivas fuentes de emisión.

Alcance	Fuente de Emisión	2008 (tCO _{2-e})	2009 (tCO _{2-e})	2010 (tCO _{2-e})	2011 (tCO _{2-e})	2012 (tCO _{2-e})
Nivel 1	Combustión Móvil (M. Propia)	3217,33	3845,56	4941,81	6623,49	6252,23
Nivel 1	Combustión Móvil (M. Arrendada)	3176,75	4006,84	4865,81	8744,62	6442,79
Nivel 1	Combustión Fija (M. Propia)	161,93	247,96	253,12	354,4	348,15
Nivel 1	Combustión Fija (M. Arrendada)	100,26	174,65	260,73	636,89	968,11
Nivel 1	Camionetas Gasolina 93'	23,28	28,14	32,40	31,45	---
Nivel 1	Refrigerante 134 a	128,18	120,48	136,71	107,82	---
Nivel 2	Energía Eléctrica	12,78	14,05	17,58	24,66	69,38
Nivel 3	Vuelos Aéreos	183,39	214,54	331,72	2328,40	2871,36
Total		7003,9	8652,22	10839,88	18851,73	16952,02

CAPITULO IV: DISCUSION

4.1 Análisis de resultados generales.

Respecto de los resultados obtenidos en este estudio se observa en general, una tendencia ascendente de las emisiones de GEI, lo cual concuerda con el aumento de los contratos mineros durante los últimos años y en consecuencia, a un mayor uso de maquinarias, consumo de petróleo y viajes aéreos por traslado del personal.

En la figura 13 se observa una tendencia al aumento de las emisiones de GEI, expresadas en toneladas de CO₂ equivalente, durante el periodo en estudio.

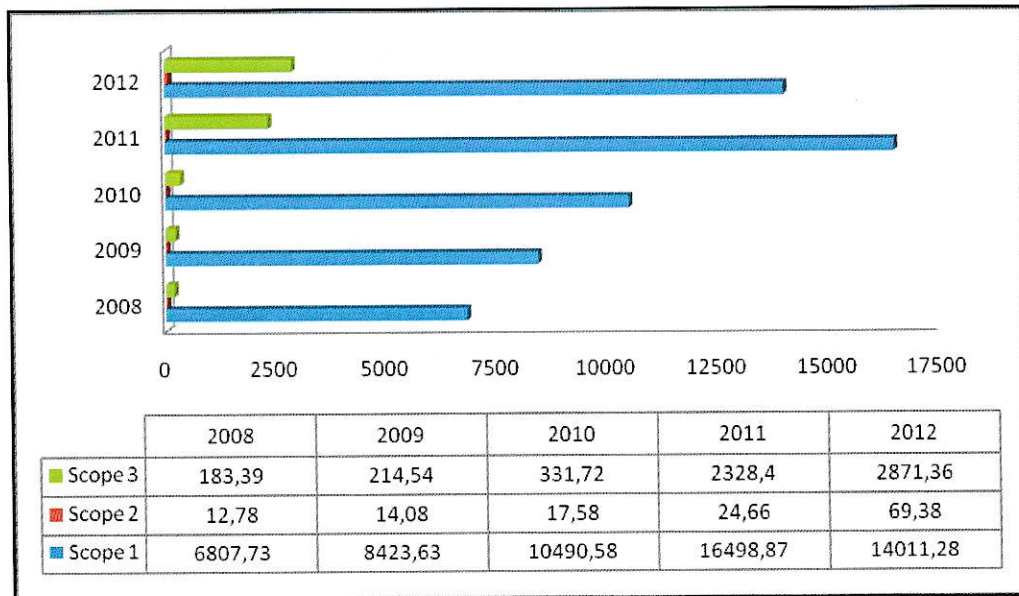


Figura 13. Tendencia anual de las emisiones de GEI.

Esta tendencia se observa especialmente en el alcance 1 referido al consumo de petróleo diesel, debido al aumento del uso de maquinaria pesada y camiones durante los últimos años. También se ve reflejada en un aumento considerable del alcance 3,

referido a los vuelos aéreos realizados por el personal, ya que durante los últimos años, el traslado del personal que trabajó con sistema de turnos en las faenas mineras se incrementó.

En el caso del alcance 2 la tendencia a incrementar sus emisiones de GEI también se ve reflejada, ya que el consumo energético de las oficinas en casa matriz y las de Antofagasta es proporcional al aumento de empleados en esos años. Sin embargo, en el último año hubo una disminución del alcance 1, debido a una disminución del arriendo de maquinarias pesadas y camiones a terceros.

En la tabla 16 se presenta en detalle las emisiones totales de GEI anuales según la fuente de emisión, relacionada directamente al consumo de recursos energéticos y viajes aéreos realizados por el personal ocurrido durante el periodo en estudio. También se muestra el porcentaje que representa cada uno de ellos en relación al total.

Tabla 16: Emisiones totales de GEI obtenidas durante el periodo 2008-2012 según fuente de emisión.

Fuentes de Emisión	2008		2009		2010		2011		2012	
	tCO _{2-e}	%	tCO _{2-e}	%	tCO _{2-e}	%	tCO _{2-e}	%	tCO _{2-e}	%
Combustión Móvil (Propia)	3217,33	45,94	3845,56	44,45	4941,81	45,59	6623,49	35,13	6252,23	36,88
Combustión Móvil (Arrendada)	3176,75	45,36	4006,84	46,3	4865,81	44,89	8744,62	46,39	6442,79	38,01
Combustión Fija (Propia)	161,93	2,31	247,96	2,87	253,12	2,34	354,4	1,88	348,15	2,05
Combustión Fija (Arrendada)	100,26	1,43	174,65	2,02	260,73	2,41	636,89	3,38	968,11	5,71
Camionetas Gasolina 93'	23,28	0,33	28,14	0,33	32,4	0,3	31,45	0,17	0	0
Refrigerante R-134a	128,18	1,83	120,48	1,39	136,71	1,26	107,82	0,57	0	0
Energía Eléctrica	12,78	0,18	14,05	0,16	17,58	0,16	24,66	0,13	69,38	0,41
Vuelos Aéreos	183,39	2,62	214,54	2,48	331,72	3,06	2328,4	12,35	2871,36	16,94
Total	6992,25		8652,22		10839,88		18851,73		16952,02	

A partir de estos resultados se elaboraron las figuras 14 a 18, las cuales corresponden a las emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para cada año de consumo.

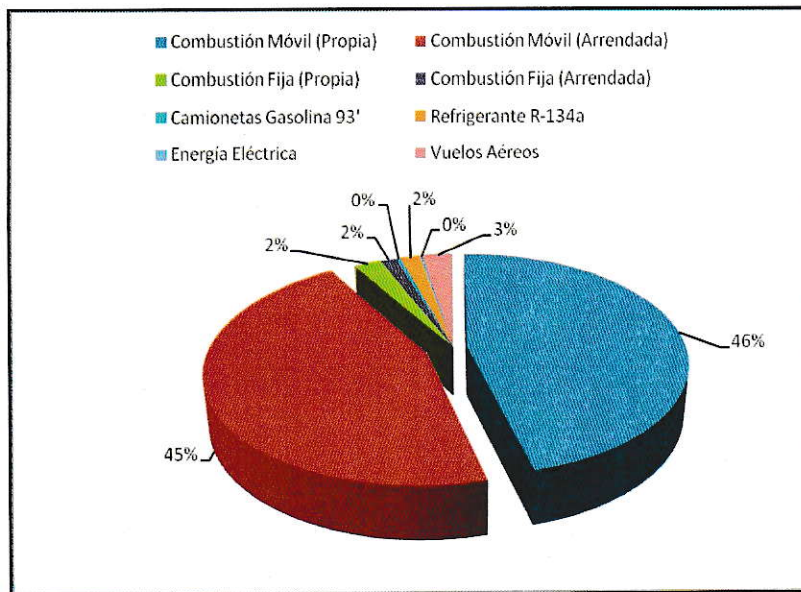


Figura 14. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2008.

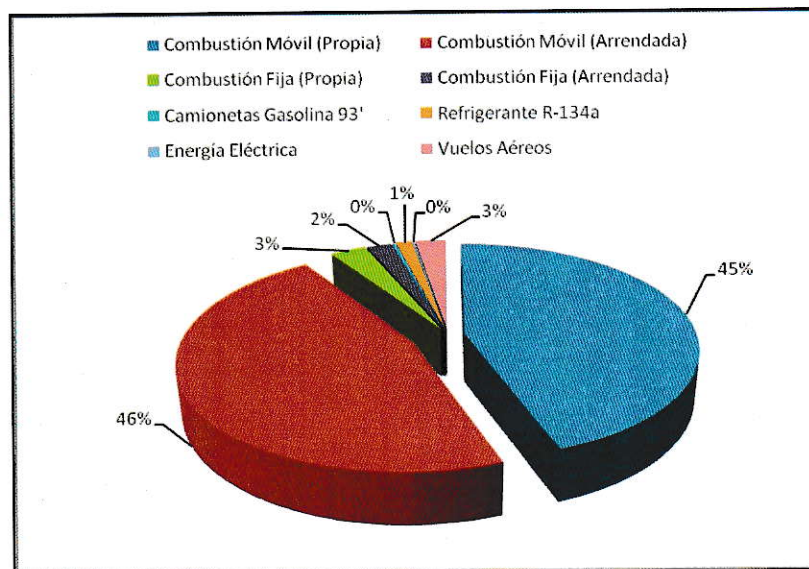


Figura 15. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2009.

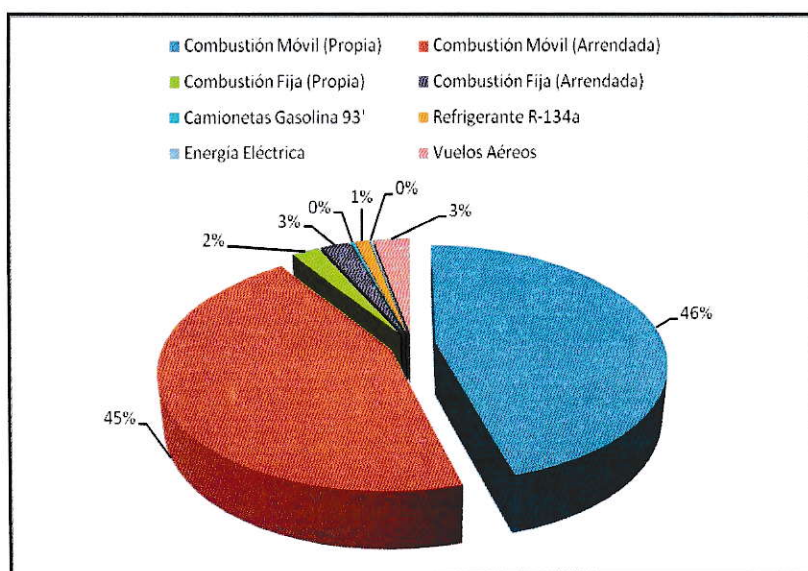


Figura 16. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2010.

En las figuras 14, 15 y 16 se observa que la mayor parte de las emisiones de GEI en esos años fue debido a la combustión de fuentes móviles, especialmente de maquinaria pesada y camiones, obteniendo aproximadamente un 91 % de las emisiones totales, de las cuales un 46% corresponde a combustión de fuentes móviles propias de la empresa y el otro 45% corresponde a combustión de fuentes móviles arrendadas a terceros, excepto en el año 2009 donde estos porcentajes se invierten. El resto de las emisiones se reparten entre los vuelos aéreos efectuados por el personal, con un valor sobre el 2% de las emisiones totales, la combustión de fuentes fijas propias y arrendadas, aproximadamente con un 2% en cada una y el consumo de refrigerante R-134a con un valor sobre el 1% de las emisiones totales de GEI..

Las emisiones por el uso de energía eléctrica y por el uso de las camionetas a base de gasolina 93' como combustible, son prácticamente despreciables en comparación con el resto, por lo que aparecen indicadas con un 0%.

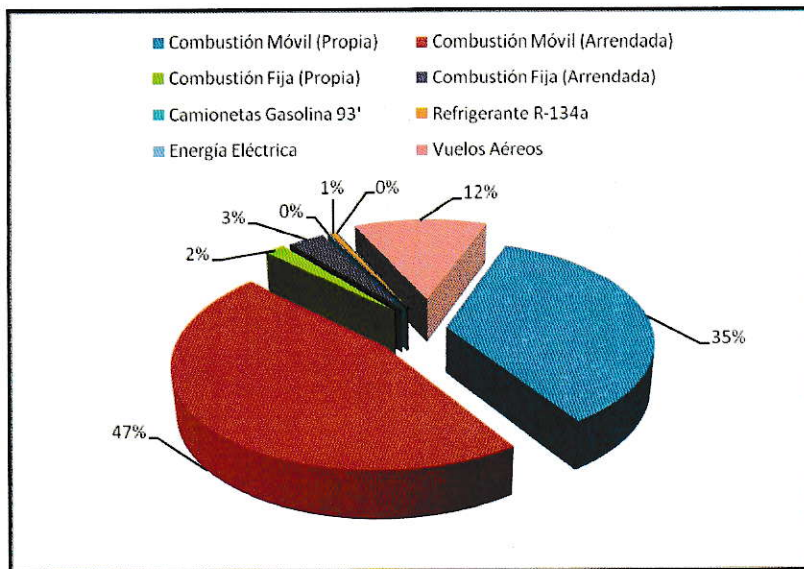


Figura 17. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2011.

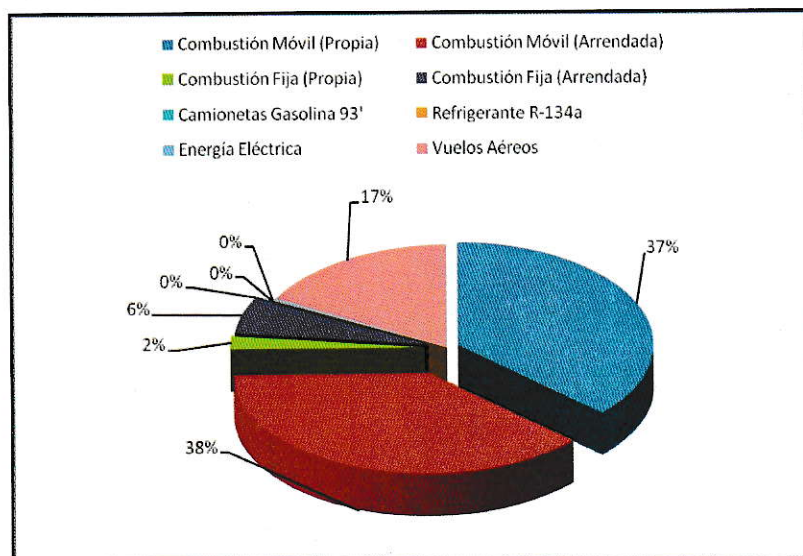


Figura 18. Emisiones totales de GEI expresadas porcentualmente para el consumo del año 2012.

En la figura 17 se observa una notable diferencia entre las fuentes por combustión móvil propias de la empresa y las arrendadas a terceros, obteniendo un 82 % del total de emisiones de GEI, del cual un 35 % corresponde a maquinarias y camiones propios de la empresa y un 47% a maquinarias y camiones arrendados a terceros. El resto de las emisiones se reparten entre los vuelos aéreos con un 12% del total, fuentes por combustión fija propia y arrendada a terceros, con un 2% y un 3% respectivamente y el consumo de refrigerante R-134a con un 1%.

Las emisiones por el uso de energía eléctrica y de camionetas en base a gasolina 93' como combustible son prácticamente despreciables en comparación con el resto, por lo que aparecen indicadas con un 0%.

En la figura 18 también se observa una diferenciación entre las emisiones por combustión móvil de maquinarias y camiones arrendados a terceros y aquellos propios de la empresa, obteniendo un 38% y un 37% respectivamente, obteniendo un 75% del total de las emisiones de GEI, lo mismo ocurre con las emisiones por combustión fija en equipos propios de la empresa y los arrendados a terceros, obteniendo un 2% y un 6% respectivamente. En relación a los vuelos aéreos se observa un aumento de estos en comparación con los años anteriores, obteniendo un 17% del total de las emisiones.

Las emisiones por el uso de energía eléctrica son prácticamente despreciables en comparación con el resto, por lo que aparecen indicadas con un 0%, también las emisiones por consumo de refrigerante R-134a y las de camionetas en base a gasolina 93' como combustible, sin embargo esto se debió a la falta de datos en este año para ambas fuentes de emisión.

4.2 Análisis de resultados para el alcance o alcance 1.

En relación a las fuentes de emisiones, se observa que las de mayor consumo de petróleo son principalmente las de tipo móvil, especialmente las maquinarias pesadas y camiones arrendados a terceros. En segundo lugar se encuentran algunas fuentes fijas de mayor uso. Estas fuentes son citadas en la tabla a continuación:

Tabla 17: Fuentes de emisiones con mayor consumo de petróleo diesel en Constructora El Sauce.

Combustión Móvil		Combustión Fija
Maquinaria Pesada	Camiones	Equipos
Bulldozer	Camión Aljibe 24000 L	Grupo Generador
Cargador Frontal	Camión Aljibe 30000 L	Torres de Iluminación
Excavadora	Camión Tolva 14 m ³	
Motoniveladora	Camión Tolva 20 m ³	
Rodillo Bomag 20 T		

Estas fuentes de emisiones son las más utilizadas por la empresa debido a su funcionalidad, lo cual está relacionado a la labor que cumple cada una de ellas en las distintas faenas realizadas durante el periodo 2008-2012, por lo que el consumo de petróleo será inevitablemente mucho mayor en comparación con las otras maquinarias, camiones y equipos que dispone la empresa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las figuras 14-18 se observa que el consumo del refrigerante R-134a es poco significativo en comparación a los consumos de petróleo, sin embargo debido al alto Potencial de Calentamiento Global (PCG) que posee al ser un HFC, debe ser considerado dentro de las fuentes de emisión de mayor impacto.

4.3 Análisis de resultados para el alcance o alcance 2.

En relación a los resultados obtenidos por el consumo de energía eléctrica se observaron bajas emisiones de GEI, ya que el uso de energía eléctrica es muy relativo y va a depender de la cantidad de personal trabajando en las oficinas, del uso de computadores, artefactos eléctricos e iluminaria durante el periodo 2008-2012, por lo cual no se pudieron comparar las emisiones anuales entre sí, aunque igual se haya observado una tendencia al aumento de éstas en los últimos años.

4.4 Análisis de resultados para el alcance o alcance 3.

En relación a los resultados obtenidos por los vuelos aéreos efectuados por el personal, se observaron altas emisiones de GEI, ya que debido a los turnos de faenas el personal se debe estar trasladando constantemente a las distintas ciudades del país, especialmente desde Santiago, lo cual se relaciona directamente a los proyectos y actividades que realiza la empresa.

La ruta Santiago-Antofagasta fue el vuelo más realizado por la empresa, ya que la mayor parte de los contratos y faenas se concentraban en esa región, por ese motivo las emisiones fueron en aumento en los últimos años del periodo 2008-2012, tal como se ven reflejados en las figuras descritas anteriormente.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

El cálculo de la huella de carbono corporativa permitió a la empresa identificar los puntos críticos de emisión (fuentes de mayor emisión de GEI), los cuales correspondían al consumo de petróleo en la utilización de maquinarias, camiones y equipos fijos seguido por los vuelos aéreos.

Una vez identificados los puntos críticos la empresa puede desarrollar estrategias de gestión y planes de acción para reducir estas emisiones, los cuales podrían ser:

➤ Maquinarias, camiones y equipos fijos

- Realizar una mantención periódica de las maquinarias y camiones con el fin de mantenerlos operativos el mayor tiempo posible y no consuman combustible innecesariamente.
- Optimizar los procesos de las maquinarias disminuyendo los periodos de ralentí, es decir, cuando la maquina se encuentra encendida, pero no operativa.
- Para futuros recambios de flota, optar por modelos de maquinarias y camiones de menor consumo de combustible y de mayor rendimiento.
- Cambiar el tipo de combustible por uno de menor impacto como las gasolinas de 93' y 95'.

➤ Vuelos aéreos

- Efectuar viajes aéreos sólo si son estrictamente necesarios, como en el caso de turnos en faena o traslado de personal desde Santiago a Antofagasta.
- Uso de videoconferencias en el caso de reuniones de trabajo que no tengan que ser necesariamente presenciales.

Si la empresa disminuyera sus vuelos aéreos en un 30%, emitiría aproximadamente 860 toneladas de CO₂ equivalente menos, por lo que sería una manera efectiva de disminuir la huella de carbono eficientemente.

Otra medida que puede adoptar la empresa, es la de compensación, es decir, comprándole bonos de carbono a otra empresa que tenga un bajo nivel de emisiones de GEI, y de este modo convertirse en carbono neutrales. Un bono de carbono cuesta alrededor de 4 dólares, correspondiente a una tonelada de CO₂-e; por lo tanto, la empresa debido a sus altas emisiones de GEI necesitará invertir bastante dinero si quiere considerar esta medida como una solución.

5.1 Recomendaciones.

La empresa puede capacitar al personal y concientizarlos acerca del cambio climático, para que se adopten buenas prácticas en relación al consumo energético, las cuales podrían ser:

- Aprovechamiento de la luz natural
- Apagar las luces cada vez que se abandone el lugar de trabajo
- Apagar los aparatos eléctricos que no se estén utilizando, apagar las pantallas y mantener los computadores en suspensión cuando salgan a colación.

Si bien estas buenas prácticas no tendrán mayor incidencia en la disminución de las emisiones totales de GEI, éstas pueden ser un buen comienzo para que los trabajadores tomen conciencia del daño que se le está provocando al medio ambiente y generar una conciencia colectiva entre sus más cercanos.

Con el inventario de emisiones la empresa podrá implementar la huella de carbono como una herramienta de gestión ambiental, mediante un indicador de emisiones que le permita ir calculando las toneladas de CO_{2-e} de manera fiable, continua y de ese modo controlar periódicamente sus emisiones.

En Chile, no existen muchas empresas que midan su huella de carbono, ya que aún no es obligatorio realizar este estudio. A la fecha, dentro del rubro de la construcción y la minería, miden su huella de carbono por ejemplo: la minera Doña Inés de Collahuasi, Constructora Novatec (Inmobiliaria) y Finning Chile (Arriendo de maquinaria pesada CAT); también empresas de otros rubros como Gerdau-Aza (Siderurgia) y Viña Ventisquero (Vitivinícola) calculan su huella de carbono.

Constructora El Sauce decidió hacerlo voluntariamente para demostrar un compromiso real con el medio ambiente, implementando esta herramienta de gestión y de ese modo podrá optar a una certificación en huella de carbono en un futuro próximo y ser reconocidos dentro de su rubro en esta materia.

CAPITULO VI: REFERENCIAS

AENOR (2013). Asociación Española de Normalización y Certificación. “Huella de Carbono de productos, servicios, organizaciones y eventos”.

http://www.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/mab_huella_carbono.asp#.UW_7_aKQXSc

ANDI (2013). Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. “Energía y Cambio Climático”

http://www.andi.com.co/cajadeherramientasrse/dequesetrata.aspx?mnu_id=34

BSi_Group (2008). British Standards Institution. “PAS 2050 - Assessing the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services”.

<http://shop.bsigroup.com/en/Browse-By-Subject/Environmental-Management-and-Sustainability/PAS-2050/>

Cuatecontzi & Gasca (2007) Dick Homero Cuatecontzi y Jorge Gasca “Los gases regulados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”

GHG Protocol (2005) The Greenhouse Gas Protocol. “A corporate accounting and reporting standard” Revised Edition.

IGME. Instituto Geológico y Minero de España. “Efecto invernadero y Cambio Climático”

http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/Secuestro/01-Introduccion.htm

IPCC (2007) Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. “La base científica física” Autores: Salomón, S.,D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Tignor y HL Miller (eds.) Capítulo II

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

OMM (2008) Organización Meteorológica Mundial. Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero. OMM N°868

OSE (2011). Observatorio de la Sostenibilidad en España. "Manual de cálculo y reducción de huella de carbono en el sector hotelero"

Protocolo de Kyoto (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Artículo 3, Inciso 1.

P.U.C (2011). Pontificia Universidad Católica. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Economía Agraria y Green Solutions. "Medición y mitigación de la huella de carbono en la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)"

Rubinson & Rubinson (2001) Kenneth A. Rubinson y Judith F. Rubinson. "Análisis Instrumental". Capítulo 10 pág. 452-454

Skoog y col. (2008) D.A.Skoog, F.J. Holler y S.R. Crouch. "Principios de Análisis Instrumental". Sexta Edición, Capítulo 16 pág. 437-438

CAPITULO VII: ANEXOS

7.1 Factores de Emisión.

7.1.1 Combustible Diesel y Gasolina 93'

Tabla 18: Factores de emisión para combustible diesel y gasolina 93' en fuentes de combustión fija y móvil.

Tipo de Fuente de Emisión	Factor de Emisión CO ₂ (Kg/L)	Factor de Emisión N ₂ O (Kg/L)	Factor de Emisión CH ₄ (Kg/L)
Combustión Fija Diesel	2,676	0,0000217	0,000361
Combustión Móvil Gasolina 93'	2,241	---	---
Combustión Móvil Diesel	2.676	---	---

Fuente: WRI. GHG Emission Factors Compilation 2009: Table 2 and 3. CO₂ Emission Factors by Fuel/ Ministerio de Energía de Chile

7.1.2 Consumo de electricidad

Tabla 19: Factor de emisión promedio anual para sistemas eléctricos nacionales.

Factor de Emisión Promedio Anual					
Sistemas eléctricos	2008 (tCO _{2-e} /MWh)	2009 (tCO _{2-e} /MWh)	2010 (tCO _{2-e} /MWh)	2011 (tCO _{2-e} /MWh)	2012 (tCO _{2-e} /MWh)
SIC	---	---	0,346	0,379	0,391
SING	---	---	0,715	0,725	0,806

Fuente: Ministerio de Energía de Chile

7.1.3 Vuelos aéreos

Tabla 20: Factores de emisión de CO₂ para vuelos nacionales.

Tipo de vuelo	Factor de Emisión (Kg CO _{2-e} /Km recorrido/pasajero)
Doméstico (nacional)	0,171

Fuente: WRI. GHG Emission Factors Compilation 2009: Table 16 CO₂ Emission Factors by Passenger Distance.

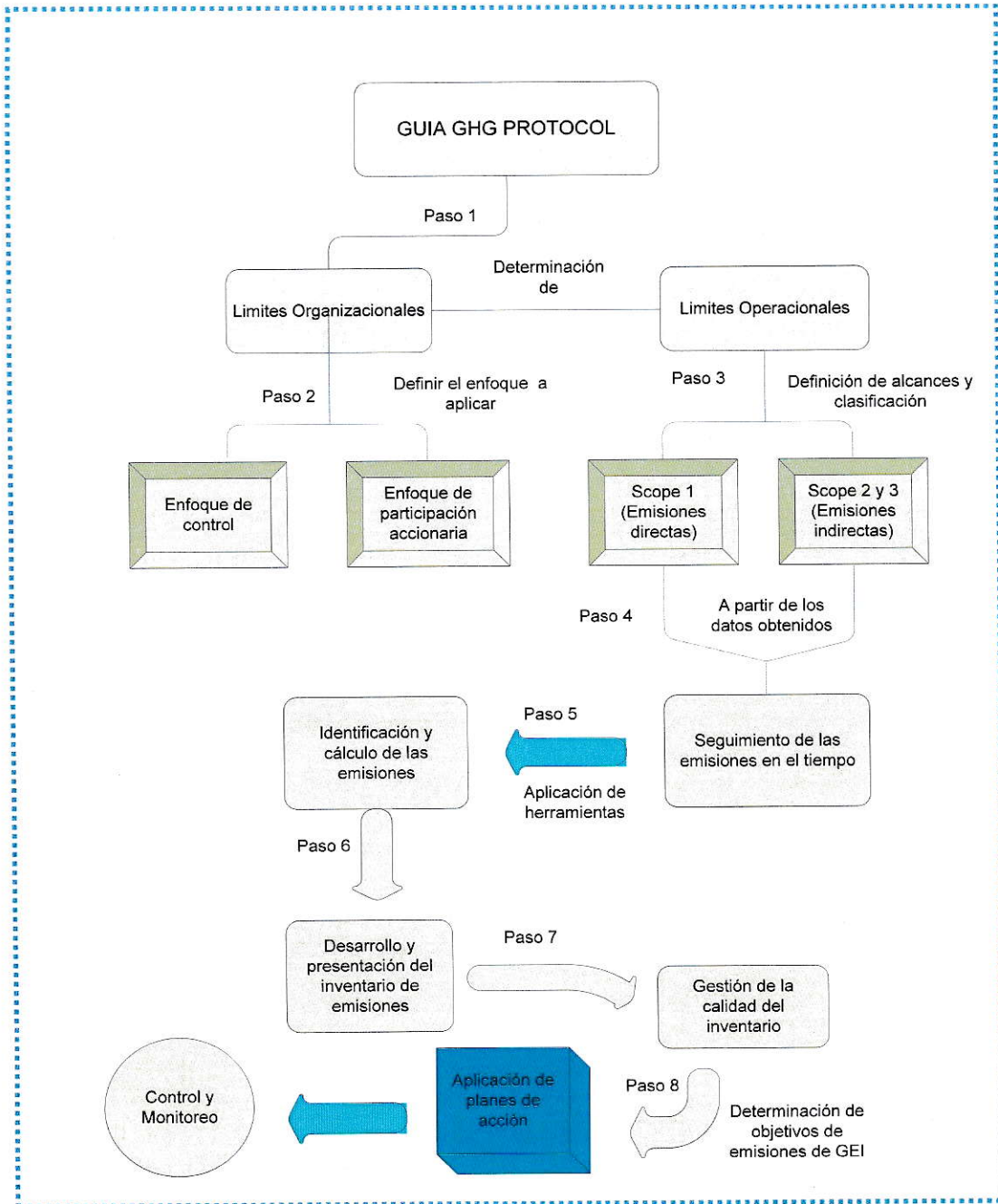
7.1.4 Potenciales de Calentamiento Global

Tabla 21: Potenciales de calentamiento global de gases de efecto invernadero en un periodo de 100 años.

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298
HFC (R-134a)	1.430
HFCs	124 - 14.800
PFCs	7.390 - 12.200
SF ₆	22.800

Fuente: IPCC, Cambio Climático 2007

7. 2 Esquema Metodología GHG Protocol



7.3 Inventario de Emisiones

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: Inventario 2008-2012					
	2008 (t CO2-e)	2009 (t CO2-e)	2010 (t CO2-e)	2011 (t CO2-e)	2012 (t CO2-e)
Alcance 1					
Consumo de petróleo por equipos fijos	262,19	422,61	513,85	991,29	1316,26
Consumo de petróleo por máquinas móviles	6394,08	7852,4	9807,62	15368,11	12695,02
Consumo de gasolina 93' por camionetas	23,28	28,14	32,4	31,45	0
Perdida de refrigerante	128,18	120,48	136,71	107,82	0
Total Alcance 1	6807,73	8423,63	10490,58	16498,67	14011,28
Alcance 2					
Consumo electrico	12,78	14,05	17,58	24,66	69,38
Total Alcance 2	12,78	14,05	17,58	24,66	69,38
Alcance 3					
Vuelos aéreos	183,39	214,54	331,72	2328,4	2871,36
Total Alcance 3	183,39	214,54	331,72	2328,4	2871,36
	7003,9	8652,22	10839,88	18851,73	16952,02



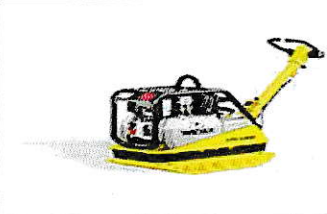
7.4 Inventario de emisiones por proyecto para consumo de petróleo.

Inventario de Emisiones Periodo 2008-2012		
Proyectos y contratos asociados periodo 2008-2012	Emisiones de GEI Scope 1	
	Fuentes fijas (tCO2-e)	Fuentes móviles (tCO2-e)
Año 2008		
Minera Escondida		
Construcción relleno sanitario	7,05	576,77
Cruce de vehículos pesados	11,56	268,09
Oxide Leach Expansion (O.L.E)	81,02	3252,47
Escondida Bioleach Pad Extension Phase II (E.B.P.E. II)	29,83	1212,42
Planta Seleccionadora áridos PS 800 / OLE	128,87	555,79
Prestación de servicios a empresa Baical	0	83,33
Tecno Fast Atco S.A Construcción Campamento Villa San Lorenzo	1,29	301,08
CODELCO Division Andina		
Ampliación Drenes y Muro Este Tranque Ovejería	2,59	144,24
Total Anual	262,21	6394,19
Año 2009		
Minera Escondida		
Oxide Leach Expansion (O.L.E)	206,77	5696,62
Escondida Bioleach Pad Extension Phase II (E.B.P.E. II)	140,58	1453,21
Planta Seleccionadora áridos PS 800 / OLE	36,7	158,77
Tecno Fast Atco S.A Construcción Campamento Villa San Lorenzo	4,68	82,9
CODELCO Division Andina		
Obras electromecánicas barrera hidráulica Tranque Ovejería	10,66	146,15
Construcción Torre de Captación N° 3 - Tranque Ovejería.	30,57	314,92
Total Anual	429,95	7852,57
Año 2010		
Minera Escondida		
Peralte Muro Tranque Laguna Seca (TLS)	174,2	3472,01
Escondida Ore Access (E.O.A)	14,03	89,9
PAD2 Oxide Leach Expansion (O.L.E)	239,91	5510,08
Planta Seleccionadora áridos PS 800 / OLE	4,97	14,7
Tecno Fast Atco S.A Construcción Campamento 2000	0	115,14
Escondida Bioleach Pad Extension Phase II (E.B.P.E. II)	0,27	63,58
Campamento 5400	0	1,65
CODELCO Division Teniente		
Obras habilitación de instalación de faenas Plataforma Confluencia	11,81	268,77
CODELCO Division Andina		
Continuación Construcción Torre de Captación N° 3 - Tranque Ovejería.	68,67	272,01
Total Anual	513,86	9807,84
Año 2011		
Minera Escondida		
Peraltamiento espigón Tranque Laguna Seca (TLS)	247,15	4667,17
Escondida Ore Access (E.O.A)	408,5	2185,57
PAD2 Oxide Leach Expansion (O.L.E)	137,75	3921,8
A4LZ-00-K-106 Movimiento de Tierra Masivo. (K-106)	181,61	4107,11
Construcción de veredas y radieres Campamento 5400	0	62,86
Reparación Piscina dual Hidrometalurgia.	2,7	2,59
Camino de operación, plataforma correa y By-Pass Zaldivar. (BPZ)	0	0,24
Pavimentación Electro Winning	0	1,56
Campamento 2000	3,77	367
Planta Seleccionadora áridos PS 800 / OLE	0,37	6,43
CODELCO Division Teniente		
Continuación Obras habilitación de instalación de faenas Plataforma Confluencia	9,44	49,47
Total Anual	991,29	15371,8
Año 2012		
Minera Escondida		
Construcción de veredas y radieres en Campamento 5400.	95,81	331,04
Movimiento de tierras Reacondicionamiento Chancador N° 1 (K-106)	19,97	434,88
Escondida Ore Access (E.O.A)	79,2	169,99
Producción, selección y transporte de Material Drenante (OLAP).	296,37	861,92
Reparación Piscina dual Hidrometalurgia.	7,99	4,08
Nuevo Sistema de Drenaje del Tranque Laguna Seca. (TLS)	159,88	4128,05
Servicios de preparación de áreas de apilamiento y Shifting del Pad 2. (OLE)	182,64	3660,61
Camino de operación, plataforma correa y By-Pass Zaldivar. (BPZ)	473,84	2918,78
Campamento 2000	0	37,32
Movimiento de tierras construcción Edificio Casino Campamento 2300.	0	3,57
Instalaciones Sanitarias del contrato "Arquitectura, Ingeniería y Construcción del Edificio 12 Villa San Lorenzo. (Tecno Fast Atco S.A)	0,57	67,69
CODELCO Division Teniente		
Construcción Obras Civiles-Estructurales y Electricas Sub estacion El Cobre	0	77,47
Total Anual	1316,27	12695,4



7.5 Maquinaria pesada y su descripción.

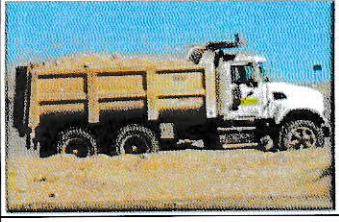



Maquinaria	Descripción	Imagen
Bulldozer	Maquinaria utilizada para excavaciones superficiales, excavando, transportando y amontonando dentro del radio de acción de cargadoras y caminos.	
Cargador Frontal	Las operaciones principales de estos tipos de máquinas son cargar, descargar y acarrear o transportar materiales.	
Excavadora	Maquinaria utilizada para mover grandes volúmenes de tierra y material sin necesidad de realizar grandes desplazamientos.	
Motoniveladora	Maquinaria utilizada para nivelar el terreno, moviendo pequeñas cantidades de tierra a poca distancia.	
Minicargador	Maquina utilizada para cargar, descargar y acarrear o transportar materiales en menor volumen.	
Rodillo	Maquina utilizada para compactar material por presión, o mezclas bituminosas en caliente para su extendido.	

7.6 Equipos fijos y su descripción.

Equipos	Descripción	Imagen
Grupo generador	Equipos utilizados para la generación y suministro de energía en faenas.	
Torre de Iluminación	Equipos portátiles utilizados para el suministro de energía eléctrica en faenas.	
Placa Compactadora	Equipo utilizado para la compactación de diversos tipos de suelos.	

7.7 Camiones y su descripción.

Camiones	Descripción	Imagen
Camión Aljibe	Camiones utilizados para regadío con agua industrial en rutas y caminos.	
Camión 3/4	Camiones utilizados para el movimiento y transporte de insumos, herramientas, entre otros.	

<p>Camión Tolva (15m³)</p>	<p>Camiones utilizados para el movimiento de tierra y material cover.</p>	
<p>Camión Tolva (20m³)</p>	<p>Camiones utilizados para el movimiento de tierra de mayor volumen.</p>	
<p>Camión Lubricante</p>	<p>Camiones utilizados para transportar lubricantes y aceites para la mantención de maquinarias.</p>	
<p>Camión Petróleo</p>	<p>Camiones utilizados para el transporte de petróleo y abastecimiento de maquinarias.</p>	
<p>Camión Tracto</p>	<p>Camiones utilizados para añadirle camas baja, rampas y de ese modo transportar equipos.</p>	