



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA HUELLA DE CARBONO POR EL  
USO DE BIODIÉSEL EN LA FLOTA DE VEHÍCULOS LIVIANOS DE  
COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI SCM**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**RODRIGO ANDRÉS PRADO MORALES**

**SANTIAGO DE CHILE  
NOVIEMBRE 2011**



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA HUELLA DE CARBONO POR EL  
USO DE BIODIÉSEL EN LA FLOTA DE VEHÍCULOS LIVIANOS DE  
COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI SCM**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

**RODRIGO ANDRÉS PRADO MORALES**

PROFESORA GUÍA:  
ERIKA GUERRA ESCOBAR

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
GERARDO DÍAZ RODENAS  
MARÍA TERESA CORDOVEZ MELERO

SANTIAGO DE CHILE  
NOVIEMBRE 2011

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL  
POR: RODRIGO PRADO MORALES  
FECHA: 03 DE NOVIEMBRE DE 2011  
PROF. GUIA: SRA. ERIKA GUERRA ESCOBAR

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA HUELLA DE CARBONO POR EL USO DE  
BIODIÉSEL EN LA FLOTA DE VEHÍCULOS LIVIANOS DE COMPAÑÍA MINERA  
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI SCM**

Durante el año 2010 la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi realiza su primera medición de la huella de carbono a lo largo de toda su línea productiva, como consecuencia directa de este acto inicia el análisis de distintas iniciativas de mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Dentro de las distintas iniciativas a evaluar se encuentra el uso de biodiésel, donde como primer acercamiento se decide probar su uso e impacto en la flota de vehículos livianos. Para esto se decide investigar el uso de este combustible según las metodologías de medición de la huella de carbono, existentes y, en específico, de la metodología utilizada por la compañía.

Lo primero que se determina es el tipo de combustible a utilizar, siendo seleccionado el biodiésel B5 (5% biodiésel, 95% diésel de petróleo) proveniente del aceite de Raps, se selecciona este porcentaje por tratarse del máximo permitido por la legislación chilena para su comercialización como mezcla con combustible tradicional.

La metodología nos muestra favorablemente que, al ser el biodiésel un combustible de origen vegetal, las emisiones de CO<sub>2</sub> que emita no se contabilizan en el Inventario de GEI, aunque se presentan como un ítem separado sólo de manera informativa. Con esto ya se tiene una disminución del 4,78% por unidad de volumen de combustible utilizado, quedando sólo por determinar la variación en el rendimiento que tendrán los equipos al cambiar el combustible.

Para analizar la variación del rendimiento se utilizan las instalaciones en Puerto Patache, pertenecientes a la compañía, y se selecciona una flota que permita justificar esta medida. Después de 10 semanas de pruebas y más de 20.000 km recorridos en conjunto, se observa que el uso de biodiésel B5 disminuyó el rendimiento de la flota en un 1,29%.

Analizando todos los resultados se obtiene que al utilizar este combustible se reducen las emisiones de CO<sub>2e</sub>, resultantes del uso de la flota de vehículos livianos, en un 3,67%. Al realizar el ejercicio de calcular el impacto de utilizar este biocombustible con toda la flota de vehículos livianos de la compañía, se estima una disminución de 600 t de CO<sub>2e</sub> entre los años 2011-2015, con un costo esperado de k\$315.199, con lo que se tendría un costo superior a los k\$600/t CO<sub>2e</sub> mitigada.

Debido al alto costo que se tiene con esta medida, no se recomienda su uso en el corto plazo, pero debido a su alto potencial a futuro, sobre todo por las investigaciones que se están realizando en esta área, se debe realizar esta misma evaluación en el mediano-largo plazo. Esto porque se espera que para el año 2017 ya se cuente con una industria nacional de biodiésel que pueda sostener el consumo requerido a un precio razonable.

## Agradecimientos

Primero que todo, quiero agradecer a mi familia, quienes siempre me han ayudado y apoyado, sin importar que tan difícil se vieran las cosas. Mis más profundos y especiales agradecimientos para mi madre y mi hermana.

Segundo quisiera agradecer a todos mis amigos y compañeros que me han acompañaron en esta travesía que comenzó con la PSU, especialmente a los Mendos, quienes son mi segunda familia; a la Pauli Figueroa, quien me soporto un año; Al Migue, que a pesar de no ser de la Chile, siempre estuvo apoyando cualquiera de las locura que se me ocurrían; a la Pauli Gaona, Lore y al Feña, con quienes nos desvelamos muchas noches para terminar los trabajos que teníamos y que nos conocimos cuando todos éramos mechones.

Tercero, le agradezco a todos los profesores que se esforzaron en entregar sus conocimientos para poder aumentar los míos, no siempre lograron que aprendiera algo nuevo, pero todos los días me daba cuenta de que me falta mucho por conocer. Quisiera enfatizar mi gratitud para la profe Erika, el profe Gerardo y la profe María Teresa, quienes opinaron desde que esta memoria no era ni siquiera una idea, y que me ayudaron a sacarla adelante con su experiencia y buena disposición cuando las cosas se veían difíciles; también agradezco al profe Carlos, quien aterrizo el proyecto y me ayudo a entender que para conseguir las metas uno se debe esforzar y no esperar a que estas lleguen por si solas hasta uno.

Cuarto, le agradezco a todos mis compañeros de la Gerencia de Energía de CMDIC, en especial a Diego Lizana, quién fue mi tutor en este trabajo, y a Pablo Caviedes, quien me ayudo y apoyo con todo lo que pudo, aún cuando no era su obligación. También estoy profundamente agradecido con la gente de Puerto Patache que siempre mostro toda su disposición para ayudar en el proyecto y facilitar las cosas, y a la gente de la oficina de Iquique que me soporto preguntándose cuál era mi aporte en la empresa y siempre ayudaban a crear un ambiente de trabajo interesante.

Finalmente le quiero agradecer la paciencia, ayuda y apoyo incondicional que me entrego la Ely, mi pareja y amiga, quién me acompaño en todo este proceso y espero siga acompañándome toda la vida.

# Índice de Contenidos

<b>RESUMEN DE LA MEMORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>iii</b>
<b>CAPITULO 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2. Objetivos y Alcances .....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo General .....	3
2.2 Objetivo Específico.....	3
2.3 Alcances .....	3
<b>CAPITULO 3. Metodología .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Revisión Bibliográfica .....</b>	<b>4</b>
3.1.1 La Compañía .....	4
3.1.2 La Huella de Carbono .....	4
3.1.3 El Biodiésel .....	4
3.1.4 Análisis de la información recopilada.....	4
<b>3.2 El Piloto .....</b>	<b>4</b>
3.2.1 Variables a medir .....	5
3.2.2 Metodología de medición de variables.....	5
3.2.3 Diseño del Piloto .....	5
3.2.4 Recopilación y análisis de resultados .....	5
<b>3.3 Evaluaciones .....</b>	<b>6</b>
3.3.1 Huella de Carbono .....	6
3.3.2 Económica .....	6
<b>CAPITULO 4. Antecedentes Generales de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M.....</b>	<b>7</b>
4.1 Antecedentes Generales .....	7
4.2 Localización .....	7
4.3 Naturaleza de la Propiedad y Estructura Organizativa.....	8
4.4 Políticas de la Compañía.....	9
4.5 Collahuasi y la Huella de Carbono.....	10
<b>CAPITULO 5. La Huella de Carbono.....</b>	<b>11</b>
5.1 El Calentamiento Global.....	11
5.2 Los Gases de Efecto Invernadero.....	12
5.3 Características de la Huella de Carbono .....	14
<b>5.4 Metodologías y Certificaciones.....</b>	<b>15</b>
5.4.1 PAS 2050.....	15
5.4.2 GHG Protocol.....	16
5.4.3 ISO .....	16
5.4.3.1 ISO 14064.....	16
5.4.3.2 ISO 14065.....	16
5.4.3.3 ISO 14063.....	16

5.4.3.4 Estandarizaciones Futuras .....	17
5.4.3.4.1 ISO 14067 .....	17
5.4.3.4.2 ISO 14069 .....	17
<b>5.5 Metodología utilizada por la compañía.....</b>	<b>17</b>
5.5.1 Limites Operacionales.....	17
5.5.2 Alcances .....	18
5.5.3 Resultados de la compañía .....	18
5.5.3.1 Medición para Flota de Vehículos Livianos.....	20
<b>5.6 Gestión sobre la Huella de Carbono.....</b>	<b>23</b>
<b><i>CAPITULO 6. Caracterización del Biodiésel.....</i></b>	<b><i>24</i></b>
<b>6.1 Descripción General .....</b>	<b>24</b>
<b>6.2 Producción .....</b>	<b>24</b>
6.2.1 Transesterificación .....	24
<b>6.3 Características de su uso.....</b>	<b>25</b>
6.3.1 Mecánicas.....	25
6.3.2 Ambientales .....	25
6.3.3 Ventajas y Desventajas.....	26
<b>6.4 Estudios Anteriores .....</b>	<b>27</b>
6.4.1 Universidad de Missouri .....	27
6.4.2 Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.....	27
<b>6.5 Uso y Normativa Internacional.....</b>	<b>28</b>
6.5.1 Mezclas más utilizadas .....	28
6.5.2 Normativa Europea .....	28
6.5.3 Normativa Estadounidense.....	29
<b>6.6 Marco Legal Chileno .....</b>	<b>30</b>
6.6.1 Decreto N°11/2008 del Ministerio de Economía.....	30
6.6.2 Decreto N°128/2008 del Ministerio de Minería.....	31
6.6.3 Resolución 142/2009 EXENTA del Ministerio de Economía.....	32
6.6.4 Circular N°30/2007, Servicio de Impuestos Internos .....	32
<b>6.7 Producción .....</b>	<b>32</b>
6.7.1 Mundial .....	32
6.7.2 Chile .....	33
<b>6.8 Demanda Futura.....</b>	<b>34</b>
6.8.1 Mundial .....	34
6.8.2 Chile .....	35
<b>6.9 Mercado Potencial .....</b>	<b>35</b>
6.9.1 Chile .....	35
6.9.2 Collahuasi.....	41
6.9.2.1 Vehículos Livianos .....	41
6.9.2.2 Otros Equipos .....	42
6.9.2.3 Consumo de Biodiésel .....	44
<b>6.10 Aceptación del uso de biodiésel por los fabricantes .....</b>	<b>45</b>
6.10.1 Vehículos Livianos .....	45
6.10.2 Vehículos de uso Minero .....	46
<b>6.11 La Huella de Carbono del Biodiésel.....</b>	<b>46</b>
<b><i>CAPITULO 7. Análisis de los antecedentes iniciales .....</i></b>	<b><i>48</i></b>

7.1 Interacción entre los distintos factores.....	48
7.2 Análisis FODA del uso de biodiésel en CMDIC.....	48
7.2.1 Fortalezas.....	48
7.2.2 Oportunidades.....	49
7.2.3 Debilidades.....	49
7.2.4 Amenazas.....	50
7.2.5 Conclusiones.....	50
<b>CAPITULO 8. Prueba Experimental en condiciones reales de operación ....</b>	<b>52</b>
8.1 Variables y Parámetros.....	52
8.2 Protocolo de medición de variable.....	53
8.3 Diseño de la Prueba Piloto.....	53
8.3.1 Parámetros.....	53
8.3.2 Periodo de Prueba.....	54
8.3.3 Flota a utilizar.....	54
8.3.4 Combustible a utilizar.....	55
8.3.5 Análisis de error preliminar.....	55
8.3.5.1 Distancia recorrida.....	56
8.3.5.2 Combustible utilizado.....	56
8.3.5.3 Rendimiento esperado.....	56
8.4 Resultados del Piloto.....	57
8.4.1 Opacidad del humo.....	57
8.4.2 Rendimiento.....	58
<b>CAPITULO 9. Evaluaciones.....</b>	<b>59</b>
9.1 Impacto en la Huella de Carbono.....	59
9.1.1 Situación base, uso de diésel.....	59
9.1.2 Uso de biodiésel.....	59
9.2 Evaluación Económica.....	60
9.2.1 Biodiésel nacional.....	61
9.2.2 Biodiésel importado.....	62
9.2.3 Biodiésel competitivo.....	63
9.3 Costo de mitigar una Tonelada de CO <sub>2</sub> e.....	64
<b>CAPITULO 10. Conclusiones.....</b>	<b>66</b>
10.1 Recomendaciones.....	67
<b>CAPITULO 11. Bibliografía.....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo A. Políticas de Collahuasi.....</b>	<b>A-1</b>
A.1 Recursos Humanos.....	A-1
A.2 Ética y Conflicto de Intereses en los Negocios.....	A-1
A.3 Administración de Riesgos.....	A-2
A.4 Calidad.....	A-2
A.5 Contractual.....	A-3
A.6 Seguridad y Salud Ocupacional.....	A-3
A.7 Medio Ambiente.....	A-4

A.8	Relaciones con la comunidad y Asuntos Corporativos .....	A-4
A.9	Recursos Hídricos .....	A-5
A.10	Energía.....	A-6
<b>Anexo B.</b>	<b>ÍNDICE Internacional del Crudo de Petróleo (WTI) .....</b>	<b>B-1</b>
<b>Anexo C.</b>	<b>Procedimientos de Cálculos.....</b>	<b>C-1</b>
C.1	Calculo de coeficientes de emisión de GEI.....	C-1
C.2	Calculo de Flujo de Caja.....	C-2
<b>Anexo D.</b>	<b>Consumo histórico de los vehículos de la prueba .....</b>	<b>D-1</b>
<b>Anexo E.</b>	<b>Emisiones Globales de GEI por Sector.....</b>	<b>E-1</b>
<b>Anexo F.</b>	<b>Reportaje sobre la primera carga de biodiésel de la prueba .....</b>	<b>F-1</b>
<b>Anexo G.</b>	<b>Hoja de Seguridad del Biodiésel .....</b>	<b>G-1</b>
<b>Anexo H.</b>	<b>Precio Histórico del Aceite de Raps.....</b>	<b>H-1</b>



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 4-1: Ubicación de Instalaciones de Collahuasi en la Región de Tarapacá.....	8
Ilustración 5-1: Variaciones de la temperatura en la superficie terrestre: años 1000 y 2100 .....	11
Ilustración 5-2: Emisiones globales de GEI.....	13
Ilustración 5-3: Emisiones Globales de GEI por sector.....	13
Ilustración 5-4: Resultados de emisiones por Alcance, año 2009.....	19
Ilustración 5-5: Resultados de emisiones por Alcance, año 2010.....	19
Ilustración 5-6: Árbol de decisión para las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible.....	20
Ilustración 5-7: Árbol de decisión para las emisiones de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O de los vehículos Terrestres .....	22
Ilustración 6-1: Diagrama proceso estándar de Transesterificación. ....	25
Ilustración 6-2: Crecimiento de la producción mundial de biodiésel.....	33
Ilustración 6-3: Consumo anual de diésel en M <sup>3</sup> .....	36
Ilustración 6-4: Parque Automotriz de vehículos livianos que utilizan Diésel.....	37
Ilustración 6-5: Índice WTI en US\$/bbl.....	38
Ilustración 6-6: Gráfico comparativo del Consumo de Diésel y del Índice WTI.....	39
Ilustración 6-7: Gráfico comparativo del Consumo de Diésel y del Parque Automotriz.....	40
Ilustración 6-8: Consumo de diésel de vehículos livianos de la compañía. ....	42
Ilustración 6-9: Consumo de diésel de la compañía. ....	43
Ilustración 6-10: utilización de combustible de vehículos livianos comparado con el consumo total de la compañía .....	44
Ilustración 7-1: Resumen de Análisis FODA de Uso de Biodiésel B5 en Collahuasi .	51
Ilustración 9-1: Histograma para el uso de biodiésel nacional .....	62
Ilustración 9-2: Histograma para el uso de biodiésel importado.....	63
Ilustración 9-3: Histograma para el uso de biodiésel competitivo .....	64

## Índice de Tablas

Tabla 5-1: Principales GEI .....	14
Tabla 6-1: Ventajas y Desventajas del uso de Biodiésel .....	26
Tabla 6-2: Requisitos generales aplicables para el biodiésel –CEN EN 14214. ....	29
Tabla 6-3: <i>Specification for Biodiésel (B100)</i> – ASTM D6751-10.....	30
Tabla 6-4: Especificaciones de calidad biodiésel chilena.....	31
Tabla 6-5: Producción de principales productores biodiésel.....	33
Tabla 6-6: Consumo de Diésel anual en M <sup>3</sup> .....	36
Tabla 6-7: Parque Automotriz .....	37
Tabla 6-8: Índice WTI en US\$/bbl.....	38
Tabla 6-9: Matriz de Correlación del Consumo Diésel, precio del WTI y el Parque Automotriz.....	38
Tabla 6-10: Consumo de Diésel y su equivalente en Biodiésel B5.....	40
Tabla 6-11: Consumo de diésel por parte de vehículos livianos de la compañía...41	
Tabla 6-12: Consumo de diésel de la Compañía (M <sup>3</sup> ) .....	43
Tabla 6-13: Consumo potencial de biodiésel de Collahuasi.....	45
Tabla 8-1: Flota a utilizar en la prueba piloto .....	54
Tabla 8-2: Resultados de análisis para muestras de biodiésel .....	55
Tabla 8-3: Resultados de mediciones de opacidad del humo en m-1 .....	57
Tabla 8-4: Rendimiento de los vehículos según combustible en km/L.....	58
Tabla 9-1: Inventario de GEI por consumo de diésel en Kg.....	59
Tabla 9-2: Inventario de GEI por consumo de biodiésel en Kg.....	60
Tabla 9-3: Resultados económicos por el uso de biodiésel nacional.....	61
Tabla 9-4: Resultados económicos por el uso de biodiésel importado .....	62
Tabla 9-5: Resultados económicos por el uso de biodiésel competitivo .....	63
Tabla 9-6: Costos de mitigar la Huella de Carbono .....	64

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Desde la firma del tratado de Kyoto, en 1997, las consecuencias del cambio climático se volvieron uno de los principales temas a nivel internacional, consecuencias que se busca revertir en el mediano plazo. A raíz de esta preocupación ambiental es que los países se concentran en controlar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), por esto el inventario de emisiones y la presencia de planes de mitigación de estos gases se convierte en la actualidad en una ventaja competitiva para ofrecer la producción de bienes y servicios en muchos países, llegando a ser incluso obligatorio para poder competir en mercados más exigentes. Es bajo esta realidad que nace la Huella de Carbono, como una metodología que permite realizar este trabajo fiscalizador y que apoya la gestión que se está imponiendo cada día más como una necesidad para competir en los mercados existentes.

La huella de carbono es definida por la *UK Carbon Trust* como “La totalidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por un individuo, organización, evento o producto”.

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM (CMDIC) efectuó durante el año 2010 la medición de la huella de carbono en toda su línea productiva. El segundo paso es realizar gestión sobre los datos obtenidos de modo de reafirmar el compromiso con el desarrollo sostenible que tiene la compañía, la que busca afectar lo menos posible al medioambiente y comunidades que la rodean.

Dentro de las iniciativas que se toman para gestionar las emisiones de GEI, están las mitigatorias que le permiten a la compañía disminuir sus emisiones realizando cambios en las tecnologías utilizadas o modificando el comportamiento de uso de las tecnologías existentes, buscando que todo el personal, tanto propio como externo, involucrado con las actividades de la compañía, tome conciencia del comportamiento que pretende adoptar en materia de sostenibilidad, logrando alinear a todos sus colaboradores.

El presente trabajo de memoria tiene la finalidad de evaluar una de las iniciativas mitigatorias que puede apoyar el trabajo estratégico que se está ejecutando. Es por esto que se realiza la evaluación del uso de biodiésel en la flota de vehículos livianos de la compañía.

Para lograr este objetivo se realizan una serie de actividades, las cuales se describen a continuación:

- Primero se presenta a la compañía de modo de entender desde donde se desea realizar la evaluación.
- Segundo se analiza la metodología utilizada para medir la Huella de Carbono, tanto desde la perspectiva general como la propia de la compañía.

- Tercero se realiza un estudio bibliográfico del biodiésel, para comprender los aspectos positivos y negativos que puede conllevar el uso de este combustible.
- Cuarto se determina cuales son las variables importantes que se deben medir para concluir si el uso de biodiésel tiene el mismo comportamiento operacional, que el que muestran los estudios e investigaciones a nivel mundial.
- Finalmente se analiza la información recopilada y se utilizan los resultados para evaluar el impacto en la huella de carbono y la evaluación económica de utilizar este producto.

Dentro de los alcances que tiene el proyecto cabe mencionar que, para esta memoria, se busca determinar el impacto en la huella de carbono y los costos asociados al uso de biodiésel solamente en la flota de vehículos livianos de la compañía, aunque de los resultados obtenidos se puede tener una aproximación del resultado que tendrá en el resto de los equipos a combustión de la operación, incluyendo a los generadores, equipos pesados, camiones extractores, entre otros.

## **CAPITULO 2. OBJETIVOS Y ALCANCES**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar el impacto económico y mitigatorio de la Huella de Carbono, producido por el uso de biodiésel en la flota de vehículos livianos de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Caracterizar la metodología de medición de la huella de carbono, específicamente para el área transporte, incluyendo la quema de combustible por parte de equipos móviles.
- Caracterizar el biodiésel a nivel general y su participación en el mercado nacional e internacional.
- Identificar las variables endógenas propias del uso operacional de la flota que puedan afectar la medición de la huella.
- Identificar los factores que afectan económicamente el uso de biodiésel.

### **2.3 Alcances**

- El trabajo considera sólo las emisiones de Alcance I, las que corresponden a aquellas generadas por la combustión de combustibles fósiles en las plantas de la empresa o en el transporte de vehículos propios.
- Dentro de las emisiones de Alcance I, sólo se estudiarán las emisiones provenientes de las flotas de vehículos livianos.
- Aunque se realizará el estudio para vehículos livianos, se utilizarán los resultados obtenidos para aproximar el comportamiento del resto de la compañía.

## **CAPITULO 3. METODOLOGÍA**

### **3.1 Revisión Bibliográfica**

Lo primero que se debe realizar es una caracterización de los principales temas que envuelven esta memoria.

#### **3.1.1 La Compañía**

Es necesario conocer la realidad actual de la compañía, ya que es la empresa interesada en realizar el estudio y será a la que afecte finalmente el trabajo aquí realizado. Esto permitirá comprender desde donde se está trabajando y cuáles son los resultados esperados.

Para esto se utiliza la información que tiene la misma compañía.

#### **3.1.2 La Huella de Carbono**

Se debe realizar un estudio que permita comprender la huella de carbono y como afecta a la compañía.

Para esto se utilizara la literatura existente y las metodologías que permitan entender cómo se realiza este proceso, que variedades de metodologías actuales y cuáles son los estándares y/o certificaciones existentes.

#### **3.1.3 El Biodiésel**

El tercer factor importante involucrado es el biodiésel, se busca entender mediante la literatura y el mercado nacional como se mueve este producto, cual es la situación actual de la industria y la legislación vigente. Además se debe entender como se ha movido el mercado internacional de biodiésel y cómo esto puede afectar al mercado nacional.

#### **3.1.4 Análisis de la información recopilada**

Finalmente se analizará la sinergia entre los tres factores presentados para diseñar el modelo de la presente memoria.

### **3.2 El Piloto**

Con la información recopilada en la revisión bibliográfica, se busca determinar cómo afecta el biodiésel a la huella de carbono y que variables se deben determinar de manera empírica para la realidad operacional de la compañía.

### **3.2.1 Variables a medir**

Es necesario conocer cuáles son todos los factores que influirán en el trabajo, establecer cuáles de estos factores serán las variables que se medirán de modo de determinar la evaluación que se desea lograr y definir los parámetros que influirán en la evaluación, pero que puedan establecerse con antelación.

Para esto se conversará con personal calificado, tanto de la compañía como externos, de manera de determinar conjuntamente las variables que se pueden medir y los parámetros que se deben fijar, todo esto relacionado con lo que ya se conoce de la tecnología y de la compañía mediante la revisión bibliográfica.

### **3.2.2 Metodología de medición de variables**

Una vez definidas las variables y parámetros a medir se, debe determinar cómo se medirán y por qué se utilizarán estos métodos de medición de variables en condiciones de normal operación de los vehículos a utilizar.

Se buscará obtener las variables que permitan identificar de mejor manera el impacto que tendrá el uso de biodiésel en la flota de vehículos livianos de la compañía, teniendo en cuenta que se buscan pruebas que no deban invadir la mecánica del vehículo.

### **3.2.3 Diseño del Piloto**

Con la metodología definida, se busca diseñar las pruebas de modo tal que minimice el sesgo de los resultados, pero tomando en cuenta que las pruebas se harán en terreno, planteando el desafío que se debe interferir lo mínimo posible con el normal funcionamiento de los vehículos.

Se identificará una serie de posibles lugares y flotas vehiculares de la compañía, optando por una que permita medir las variables necesarias y que no impacte de manera importante el normal desarrollo de la operación de los vehículos y sus usuarios.

### **3.2.4 Recopilación y análisis de resultados**

Una vez definido cómo y dónde se realizarán las pruebas, se debe recopilar la información medida y analizarla.

Para lo primero, se buscará un método para obtener la información, evitando errores por traspaso de datos. Para lo segundo, se buscarán alternativas estadísticas que permitan analizar los resultados, optando por la mejor de acuerdo a los recursos disponibles.

### **3.3 Evaluaciones**

#### **3.3.1 Huella de Carbono**

Lo primero que se mide es evaluar la huella de carbono, de modo de averiguar cómo afecta el uso de biodiésel en las emisiones de GEI según la metodología utilizada.

#### **3.3.2 Económica**

Finalmente corresponde evaluar económicamente el proyecto, para determinar los costos, el flujo de caja y obtener el costo por unidad de volumen y por tonelada de CO<sub>2</sub>e (t CO<sub>2</sub>) mitigado.



# **CAPITULO 4. ANTECEDENTES GENERALES DE COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI S.C.M.**

## **4.1 Antecedentes Generales**

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM (CMDIC) es una empresa productora de concentrado de cobre, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno, cuya operación se basa en la explotación a rajo abierto de tres depósitos de mineral ubicados en la zona altiplánica del extremo norte de Chile. Sus instalaciones industriales y sus yacimientos Rosario, Ujina y Huinquintipa están ubicados en la comuna de Pica, a 185 Km. al sureste de la ciudad de Iquique, a una altitud promedio de 4.400 metros sobre el nivel del mar. Es lo que se denomina “Área Cordillera”. En Ujina está ubicada la planta concentradora, desde donde nace un mineroducto que se extiende a lo largo de 203 Km. hasta las instalaciones de filtrado y embarque de la Compañía, situadas en Punta Patache, a unos 65 Km. al sur de Iquique, cuya labor es trasladar el concentrado de cobre. En este lugar, denominado “Área Puerto”, se ubica también la planta de molibdeno y el terminal portuario donde se embarcan los productos procesados con destino a los mercados internacionales.

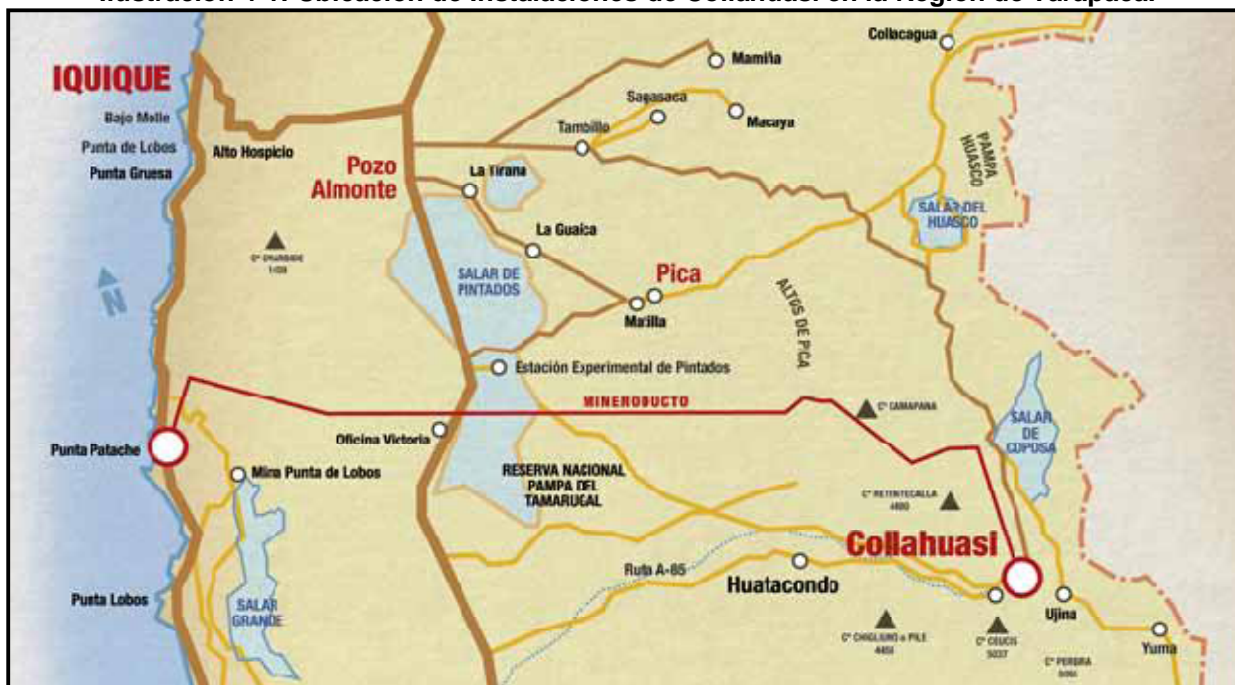
Collahuasi es una sociedad contractual minera y no tiene en la actualidad negocios conjuntos con otras empresas locales o internacionales, salvo en las exploraciones mineras como se detalla a continuación.

Collahuasi es propietaria de concesiones mineras de explotación que cubren una superficie de 123.668 hectáreas y además es titular de concesiones de exploración minera que cubren otras 133.400 hectáreas. A través de la Sociedad Contractual Minera Michincha, de la cual Collahuasi es propietaria del 50% de sus acciones, es titular de concesiones de explotación minera que cubren adicionalmente un área de 22.820 hectáreas. Por otra parte, Collahuasi es propietaria de 15.282,2 hectáreas de terrenos superficiales. Los terrenos ya alterados por la presencia de infraestructura minero-industrial suman un total aproximado de 11.650 hectáreas, de los cuales 9.800 hectáreas serían de propiedad de Collahuasi y las 1.850 hectáreas restantes corresponderían a servidumbres autorizadas a la Compañía. Cabe señalar que en el año 2009 se presentó a las autoridades correspondientes una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) para la aprobación del Proyecto de Expansión de 170 ktpd. Este proyecto involucra una inversión de US\$750 millones y aumentará la capacidad de procesamiento de mineral en un 20%. Esta DIA fue aprobada el 1 de febrero de 2010.

## **4.2 Localización**

Las oficinas principales de la Compañía están ubicadas en Iquique, región de Tarapacá, donde opera la Presidencia Ejecutiva. Además, la empresa cuenta con oficinas corporativas en la comuna de Pica, en la misma región, y en la ciudad de Santiago, capital de Chile.

Ilustración 4-1: Ubicación de Instalaciones de Collahuasi en la Región de Tarapacá.



Fuente: Collahuasi, 2010

### 4.3 Naturaleza de la Propiedad y Estructura Organizativa

Collahuasi es una sociedad contractual minera perteneciente a Anglo American plc y a Xstrata Copper, división de la minera suiza Xstrata plc, cada una con un 44% de la propiedad. El 12% restante pertenece a JCR, un consorcio de compañías japonesas liderado por Mitsui & Co., Ltd.

Collahuasi se constituye como sociedad de responsabilidad limitada mediante escritura pública del 11 de abril de 1983, siendo posteriormente transformada a sociedad anónima cerrada con fecha 8 de julio del mismo año.

En Junta General Extraordinaria de Accionistas celebrada el 1 de agosto de 1996, la Compañía se convirtió en sociedad contractual minera.

En su constitución legal Collahuasi tiene la facultades para: el reconocimiento, exploración, desarrollo y explotación de las concesiones y pertenencias mineras y demás derechos de esta clase y bienes conexos o accesorios, que son de su propiedad y que conforman parte de su patrimonio, así como de los que en el futuro adquiera a cualquier título o que tenga derecho a explorar o explotar, ubicadas todas en el área de interés; la instalación y operación de las plantas de beneficio para el tratamiento, refinación y transformación de los minerales que produzca; y la venta, exportación y comercialización de dichos minerales y/o sus productos.

## 4.4 Políticas de la Compañía

Dentro de la compañía se instauran 10 políticas que direccionan el funcionamiento de ésta. De las 10 políticas 2 son enfocadas a las personas, 3 al negocio y 5 al desarrollo sustentable. Cada Política está compuesta por un propósito y varios principios. Las políticas tienen los siguientes enfoques<sup>1</sup>:

- Personas
  - Recursos Humanos.
  - Ética y Conflicto de Intereses en los Negocios.
- Negocio
  - Administración de Riesgos.
  - Calidad.
  - Contractual.
- Desarrollo Sustentable
  - Seguridad y Salud Ocupacional.
  - Medio Ambiente.
  - Relaciones con la comunidad y Asuntos Corporativos.
  - Recursos Hídricos.
  - Energía.

De las 10 políticas se destacan, con motivos de la presente memoria, las políticas de Medio Ambiente y de Energía.

La política de Medio Ambiente tiene el propósito de “Establecer los principios que permitan el uso eficiente y sustentable de los recursos naturales considerando los impactos ambientales ocasionados por el desarrollo de los proyectos, la operación o el cierre de las faenas”, además entre sus principios se aprecia: “La conservación y protección del medio ambiente la realizamos a través del uso eficiente y sustentable de la energía y los recursos hídricos, la minimización de la generación de residuos y disminución de su peligrosidad y la prevención de la contaminación e impacto ambiental en sus instalaciones”; “Mejoramos nuestras prácticas ambientales, en las distintas etapas del desarrollo de Collahuasi y sus proyectos a base de la experiencia, promoviendo permanentemente el desarrollo continuo”.

La política de Energía tiene el propósito de “Establecer los principios que permitan asegurar el suministro de las diferentes formas de energía que requiere la Compañía, de manera ambiental y económicamente sostenible, desarrollando mejoras continuas y sustentables en su desempeño ambiental, mediante la innovación, la gestión y el uso

---

<sup>1</sup> Ver CAPITULO 11. Anexo A. Políticas de Collahuasi

eficiente de la energía”, destacando los principios de: “Promovemos la medición y reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, producto de la utilización de recursos energéticos empleados en nuestras operaciones y por nuestros contratistas y proveedores”; “Observamos permanentemente el desarrollo de las Energías Renovables No Convencionales y otras tecnologías relacionadas con Eficiencia Energética y promovemos su potencial aplicación en nuestras operaciones, ya sea directamente o a través de nuestros proveedores o contratistas”.

Cumpliendo con las políticas destacadas es que Collahuasi se propuso ser un actor activo en la lucha contra el cambio climático, destacándose su participación en la Mesa Minera de Eficiencia Energética, y en el Comité de Cambio Climático, creado bajo el Alero de la SONAMI (Sociedad Nacional de Minería). Además es la primera entidad en Chile que mide la huella de carbono en toda su línea productiva, lo que le permitirá gestionar al largo plazo las emisiones y tomar las medidas de reducción necesarias (Minería Chilena, 2011).

#### **4.5 Collahuasi y la Huella de Carbono**

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi realizó durante el año 2010 la medición de su Huella de Carbono en toda su línea productiva. El estudio realizado consideró los tres Alcances posibles de medir:

Alcance I: Emisiones directas, correspondientes a aquellas generadas por la combustión de combustible fósil (petróleo, bencina, gas, etc.), en las plantas de la empresa, o el usado en transporte por vehículos propios.

Alcance II: Emisiones indirectas, correspondientes a aquellas generadas por las instalaciones que producen energía eléctrica utilizada por los procesos, pero que están ubicadas fuera de faena.

Alcance III: Otras emisiones indirectas, correspondientes a emisiones de proveedores de insumos, productos o servicios necesarios para la producción

La medición de la huella de carbono es una actividad que se actualiza mensualmente a nivel compañía, siendo informada a todas las áreas los avances en sus procesos con el fin de mejorar la gestión interna.

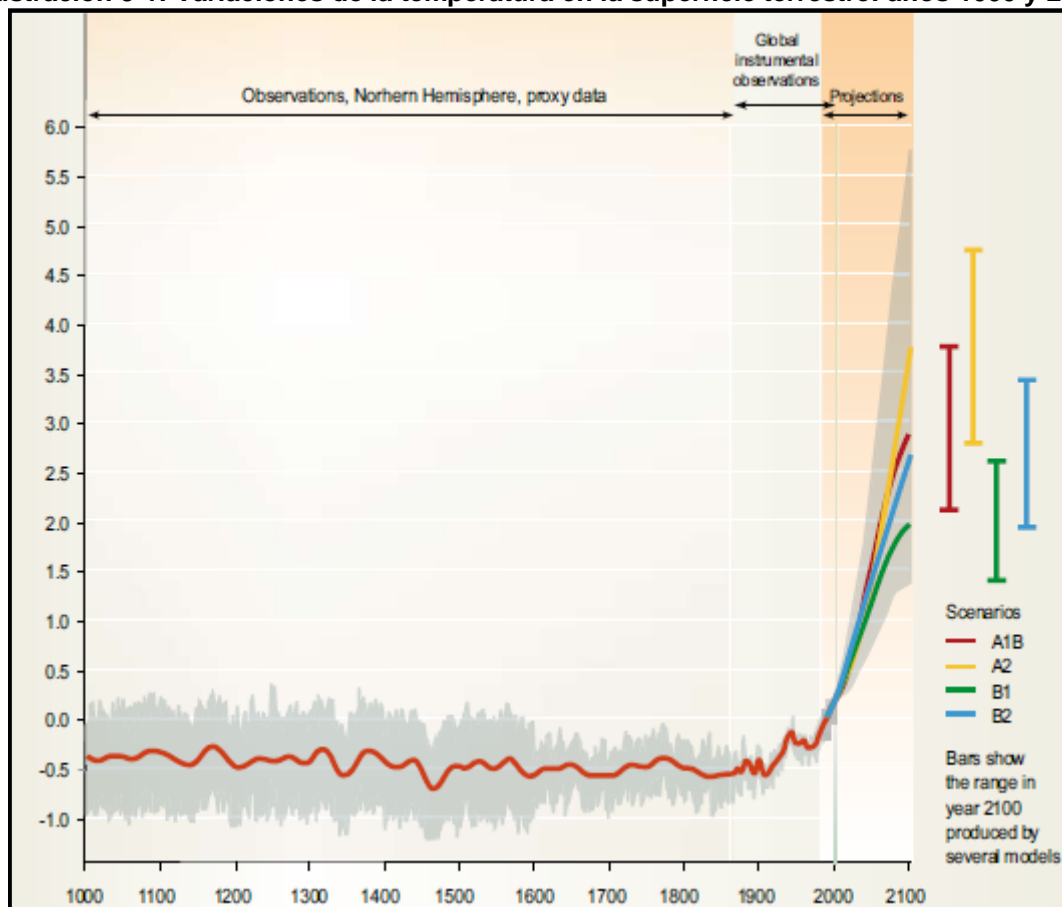
Como consecuencia directa de la medición de la huella de carbono, la compañía realiza un plan de iniciativas mitigatorias que permitan reducir las emisiones realizadas. Bajo esta línea estratégica es que se desea realizar pruebas de utilización de biodiésel en instalaciones de Puerto Patache, de manera de aproximar cuales serían las repercusiones a nivel empresa que tendría el uso de biodiésel, como combustible de alimentación para la flota de vehículos livianos. Con este estudio también se puede realizar una primera aproximación a lo que pasaría si se dispusiera de un cambio de combustible completo, dejando de utilizar el diésel tradicional y empezando a consumir biodiésel B5.

# CAPITULO 5. LA HUELLA DE CARBONO

## 5.1 El Calentamiento Global

Al ver la desviación de la temperatura, con respecto al promedio de 1990, se puede determinar que el último milenio ha sido bastante estable, aunque esta tendencia se rompe en el siglo XX, donde se aprecia que empieza a subir la temperatura. Lo más preocupante se muestra en los pronósticos realizados por el Panel Intergubernamental por el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), en el Cuarto Reporte de Evaluación: Cambio Climático 2007, cuyas proyecciones muestran variaciones que podrían llegar a los 4°C para el año 2100 (ver Ilustración 5-1: Variaciones de la temperatura en la superficie terrestre: años 1000 y 2100).

**Ilustración 5-1: Variaciones de la temperatura en la superficie terrestre: años 1000 y 2100**



Fuente: UNEP&GRID/Arendal, Vital Climate Graphics update 2005

El Problema es tan importante que el IPCC declara que “El cambio climático es uno de los grandes desafíos de este siglo si tenemos en cuenta sus causas, consecuencias globales y la magnitud de los impactos esperados tanto en los ecosistemas como en las actividades humanas. Estas transformaciones modificarán de manera significativa los patrones actuales de producción, distribución y consumo, y en general, los estilos de vida de las sociedades modernas”.

Este incremento en las temperaturas tiene consecuencias globales, donde los impactos observados son tan variados como el aumento del nivel del mar, el derretimiento de glaciares, hielos polares y nieve acumulada en las montañas; aumento de eventos climáticos extremos, además del cambio en distintos ecosistemas naturales alrededor del mundo, aumentando las precipitaciones en algunas zonas y desertificando otras.

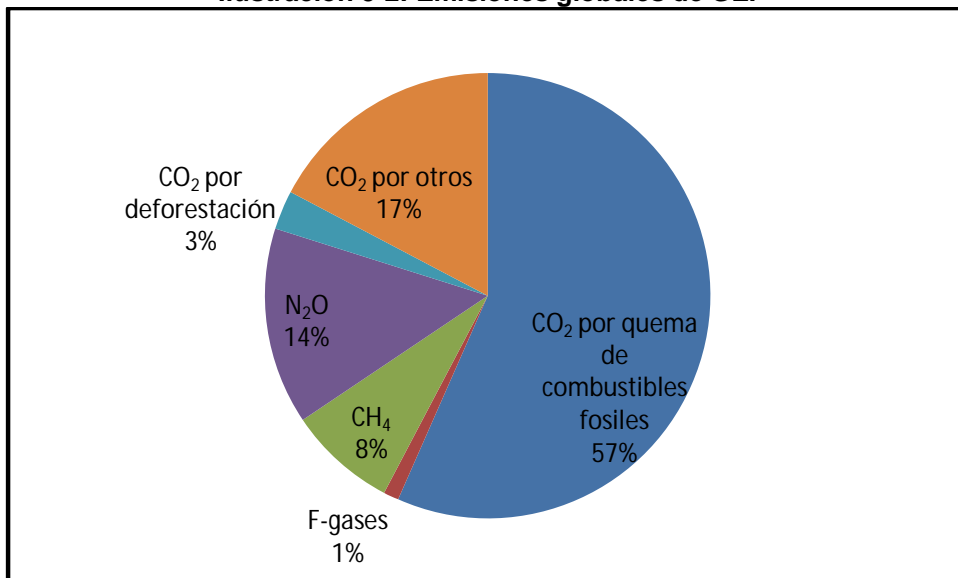
A pesar de que el cambio climático es un proceso natural y cíclico en el planeta relacionado a la concentración existente de gases de efecto invernadero existente en la atmósfera, donde el cambio climático se manifiesta actualmente con un aumento paulatino, pero constante, de las temperaturas, mostrando importantes modificaciones a los patrones de precipitaciones. Este aumento actual en las temperaturas, denominado calentamiento global, se considera como una consecuencia de diversas actividades antropogénicas asociadas principalmente a la quema de combustibles fósiles, a la deforestación, al cambio de usos de suelos y la generación de residuos sólidos; provocando un aumento en la velocidad en que el cambio climático normal se realiza.

## **5.2 Los Gases de Efecto Invernadero**

El protocolo de Kyoto da los lineamientos y procedimientos necesarios para estabilizar la concentración de gases de efecto Invernadero a niveles que permita controlar peligros de interferencia antropogénicas que afecten el sistema climático mundial. Para esto el protocolo de Kyoto espera que la suma de las emisiones de los países que aceptaron el acuerdo, se reduzca en un 5% para el año 2012 al compararlas con las emisiones de estos gases de 1990. Esto significa que si en total se toma que en 1990 se emitió un 100%, se espera que el año 2012 se emita un 95%. Se debe considerar que aunque el Protocolo de Kyoto se adoptó el año 1997, recién entró en vigor en el año 2008 y que en la actualidad ha sido ratificado por 182 países, siendo Estados Unidos uno de los países más importantes que no lo ha ratificado, esto por considerar que la medida tomada, por sí sola no basta para combatir el calentamiento global.

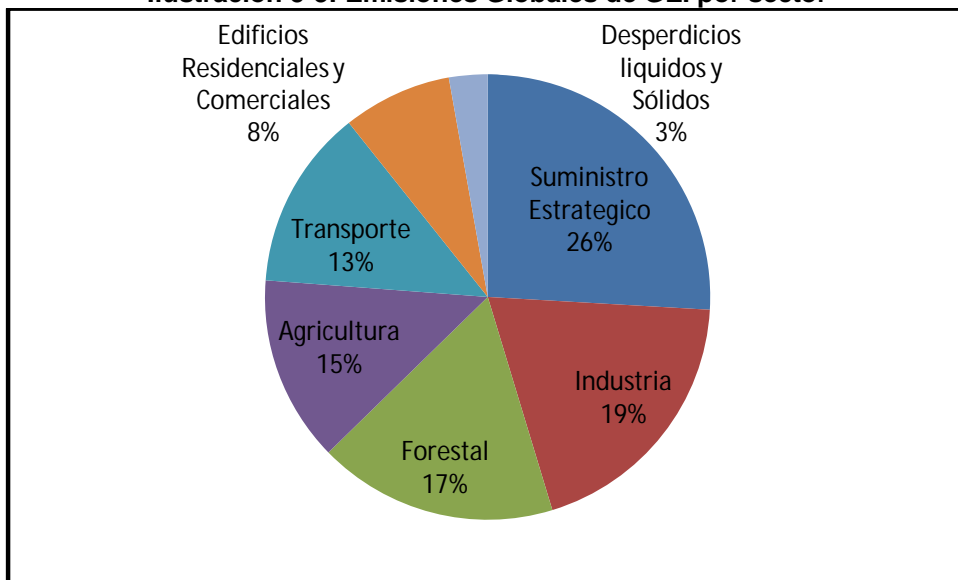
La comunidad internacional, mediante el protocolo de Kyoto, consensua que los Gases de Efecto Invernadero (GEI) más relevantes son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), hidrofluorocarbonos (HFCs) y perfluorocarbonos (PFCs), siendo estos tres últimos denominados como los F-gases. A continuación se muestra un gráfico que permite conocer los principales GEI, uno que muestra las emisiones de GEI.

**Ilustración 5-2: Emisiones globales de GEI**



Fuente: IPCC, 2007

**Ilustración 5-3: Emisiones Globales de GEI por sector**



Fuente: IPCC, 2007

Para cada uno de los GEI existen algunas características interesantes de comparar, como son la concentración pre-industrial, la concentración actual, el tiempo de vida en la atmósfera, la principal actividad humana que lo produce y el potencial de calentamiento global (PCG). El PCG muestra la capacidad de afectar el calentamiento global en un periodo de 100 años comparados con el CO<sub>2</sub>. En la Tabla 5-1 puede verse estos datos para los principales GEI.

**Tabla 5-1: Principales GEI**

GEI	Concentración Pre Industrial	Concentración en 1998	Tiempo de vida en la atmosfera	Principal actividad humana que lo produce	PCG
	(ppmv)	(ppmv)	(años)		
Vapor de Agua	~0 a 56.000	~0 a 56.000	pocos días	-	-
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	280	365	variable	Combustibles Fósiles, producción de cemento, cambio en el uso de tierras	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	0,7	1.75	12	Combustibles Fósiles, Crecimiento de los vertederos	21
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	0,27	0,31	114	Fertilizantes, combustión de procesos industriales, ganadería	310
HFC23 (CHF <sub>3</sub> )	0	0,000014	250	Electrónica, refrigerantes	12.000
HFC 134 a (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F)	0	0,0000075	13,8	Refrigerantes	1.300
HFC 152 a (CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )	0	0,0000005	1,4	Procesos Industriales	120
Perfluorometano	0,0004	0,00008	>50.000	Producción de Aluminio	5.700
Perfluoretano	0	0,000003	10.000	Producción de Aluminio	11.900
Hexafluoruro de Azufre	0	0,0000042	3.200	Fluido dieléctrico	22.200

Fuente: IPCC, 2007

Globalmente se ha aceptado el uso del CO<sub>2</sub>e para referirse a las emisiones conjuntas de los distintos GEI, donde se toma el total de emisiones de cada uno de estos y se multiplica por su PCG. (Para ver un bosquejo de las emisiones por sector ver CAPITULO 11. Anexo E. Emisiones Globales de GEI por Sector)

### 5.3 Características de la Huella de Carbono

Tal como se explicó anteriormente, el actual cambio climático tiene una tendencia hacia el calentamiento global producido por el aumento antropogénico de los GEI.

Actualmente casi todas las actividades realizadas por la humanidad, desde transportarse hasta alimentarse, incluyendo la manufacturación de los bienes que se poseen, implican un consumo energético, siendo este consumo una forma de contribuir a las emisiones de GEI a la atmósfera.

Es bajo esta realidad que nace la Huella de Carbono, ya que representa una medida que contribuye a que las organizaciones mejoren su responsabilidad social, ayudando, a su vez, a concientizar a la ciudadanía de cómo modificar las costumbres actuales por otras más sostenibles.



La Huella de Carbono es una metodología con la que se pretende cuantificar las emisiones de GEI, medidas en emisiones de CO<sub>2</sub>e, que son liberadas a la atmósfera en las actividades cotidianas de una empresa, persona o institución. Para este análisis se realiza un estudio que abarca todo el ciclo de vida, permitiendo que los consumidores puedan decidir cual producto es más amigable con el medio ambiente, y por ende como ser ellos mismos más sustentables según los productos y servicios que adquieran.

La Huella de Carbono se basa principalmente en el cálculo del inventario de GEI, el que, al igual que un inventario común y corriente, nos muestra cuantos GEI emiten y capturan desde la atmosfera una persona, producto, empresa, servicio, institución, etc. Determinándose el saldo final, cuyo valor es la Huella de Carbono, y que permite poner una base para realizar una gestión medioambiental medible y comparable con la huella de carbono de otras entidades, productos, personas, etc.

## **5.4 Metodologías y Certificaciones**

Actualmente la huella de carbono es una ventaja competitiva ya que algunos países, como Francia, están exigiendo la rotulación de GEI emitidos al fabricar cualquier producto vendido en las empresas de retail. Existen múltiples empresas, tanto a nivel nacional como internacional, que realizan la certificación de la Huella de Carbono, aunque todas las empresas de auditoría y certificación basan su funcionamiento en algunos estándares internacionales, los cuales están constantemente mejorando.

A continuación se presentan los principales estándares utilizados para definir la metodología de medición.

### **5.4.1 PAS 2050**

El *Publicly Available Specification* (PAS) es definido por el Grupo BSI como un paso en el proceso de estandarización, siendo el Grupo BSI una organización dedicada a proveer el servicio empresarial de bases y estándares a más de 150 países, presentándose a sí misma como una empresa independiente, privada y que no distribuye beneficios, la que ayuda a mejorar la calidad y el desempeño, reducir los riesgos, manejar y proteger la reputación, y ayudar a que las empresas sean más sustentables.

Dentro de las distintas normativas PAS, está la PAS 2050, la que es encargada de especificar los requerimientos para calcular el ciclo de vida de los GEI de bienes y servicios. El PAS 2050 está basado en las técnicas y principios claves para la evaluación del ciclo de vida, no incluyendo una línea para una categoría-producto específico, esto porque busca ser un servicio transversal que permita la comparación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre productos y establecer la metodología de información del inventario de GEI, aunque no es un requisito específico el comunicar los resultados.

## **5.4.2 GHG Protocol**

El GHG Protocol es la herramienta de cuantificación del Inventario de GEI más utilizada por gobiernos y empresas para entender, cuantificar y manejar las emisiones.

Este protocolo es producto del trabajo de una década de *World Resource Institute* (WRI) y el *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD). El protocolo trabaja con empresas, gobiernos e incluso con grupos ambientalistas a lo largo del mundo, construyendo así programas efectivos y creíbles para atacar al cambio climático.

## **5.4.3 ISO**

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en Inglés), dentro de las distintas facetas que utiliza para abordar las necesidades de los distintos *Stakeholders* de los negocios, industrias, entidades gubernamentales y organizaciones no gubernamentales; decide introducir la familia de las normativas ISO 14000, mediante la cual se realiza una estandarización para el manejo medioambiental.

Dentro de esta familia normativa se destacan las siguientes normas, algunas de ellas futuras, para el manejo de inventarios de GEI y medición de la Huella de Carbono

### **5.4.3.1 ISO 14064**

Esta estandarización está dividida en tres partes, las que buscan en su totalidad tener una manera de verificar y contabilizar las emisiones de GEI. Esto se logra gracias a que la estandarización provee requerimientos claros y verificables que ayudan a los organizadores y defensores de los proyectos de reducción de GEI.

Esta estandarización se crea el año 2006, cuando la ISO adopta el estándar corporativo creado por *GHG Protocol*.

### **5.4.3.2 ISO 14065**

Esta estandarización complementa a la ISO 14064 especificando los requerimientos para acreditar o reconocer al capital humano necesario para emprender la validación y verificación del inventario de GEI utilizando el estándar ISO 14064, otro estándar o especificaciones relevantes.

### **5.4.3.3 ISO 14063**

Esta estandarización tiene el objetivo de entregar una guía, además de mostrar ejemplos, para que las compañías realicen un sistema de comunicación medioambiental, creando así el nexo con los *stakeholders* externos

#### **5.4.3.4 Estandarizaciones Futuras**

Como se puede observar las normas y estándares actuales entregan herramientas para la cuantificación del inventario de GEI.

Las normativas y estándares futuros tendrán como objetivo el calcular la Huella de Carbono para los productos y servicios.

##### **5.4.3.4.1 ISO 14067**

Proveerá los requerimientos para la cuantificación y comunicación de los GEI asociados a un producto creando así la Huella de Carbono del producto.

Esta normativa se dividirá en dos partes, donde la primera mostrará como cuantificar la Huella de Carbono y la segunda parte armonizará las metodologías para comunicar la información de la huella de carbono proveyendo también una guía para su comunicación.

##### **5.4.3.4.2 ISO 14069**

Finalmente esta normativa entregará una guía para que la organización calcule la huella de carbono de sus productos, servicios y cadena de suministro.

### **5.5 Metodología utilizada por la compañía**

En el caso concreto de CMDIC, se utilizó como base para la medición del inventario de GEI, el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI (ECCR), basado en el *GHG Protocol*, debido a que es ampliamente aceptado en el mundo empresarial, gubernamental y de ONG's (Cadiu, 2010)

Para empresas mineras, como es este caso, no se justifica el uso de la metodología de ciclo de vida del producto (PAS 2050), debido a que el cobre tiene un uso variado dentro de distintas industrias como son las comunicaciones, automotriz, construcción, monedas, instrumentos musicales, etc. Si se utilizase esta metodología se complicaría la determinación de la cuantificación del inventario, ya que no se conoce la disposición final ni el reciclado de los minerales; esto por la variada cantidad de subproductos del cobre y la vida útil de estos.

Al ser el cobre un insumo para otras industrias, la metodología propuesta por el *GHG Protocol* es más adecuada. Para utilizar esta metodología se deben definir ciertos parámetros que permiten delinear los alcances del inventario, estos alcances son:

#### **5.5.1 Límites Operacionales**

Siguiendo lo establecido por la ECCR, se consideran las emisiones resultantes de la empresa a lo largo de su cadena de valor, desde la exploración hasta la embarcación

del producto final (concentrado de cobre, cátodos de cobre y concentrado de molibdeno).

La cadena de valor de la compañía se limita hasta el embarque debido a que su sistema de venta incluye hasta la carga del concentrado en el barco, pasando en ese momento a ser el cliente el responsable del producto, por lo que no se cuenta con información fidedigna que permita cuantificar desde este momento hasta la disposición final del producto.

### 5.5.2 Alcances

La compañía para su inventario de GEI considera las actividades especificadas dentro de los alcances I, II y III, siendo estos:

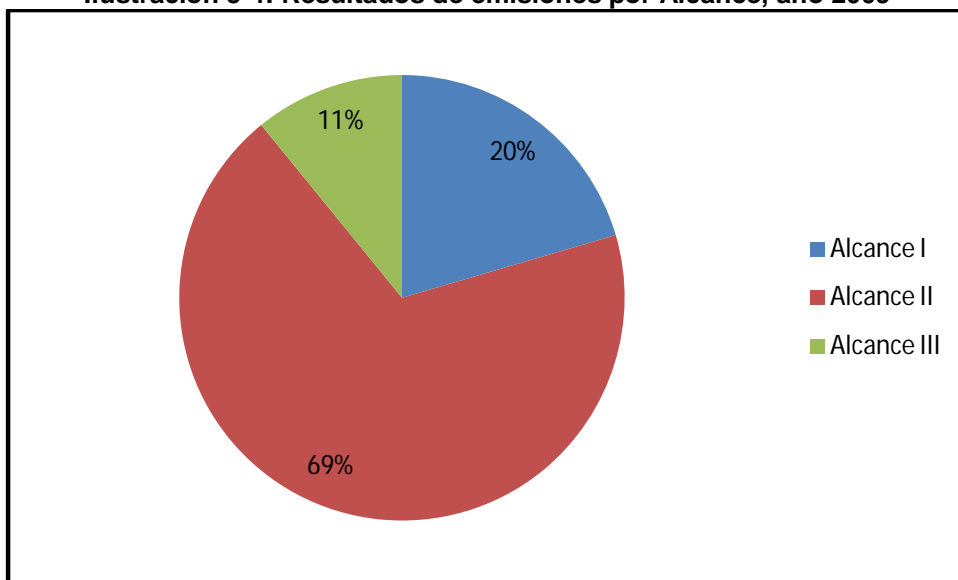
- **Emisiones Directas (Alcance I):** Son aquellas emisiones de GEI producidas por actividades controladas directamente por la administración de la compañía, considerándose básicamente la quema de combustibles fósiles por parte de equipos de la compañía, la fuga de gases de equipos de refrigeración y climatización, y a las emisiones fugitivas (Q SON LAS FUGITIVAS).
- **Emisiones Indirectas (Alcance II):** Son aquellas generadas por la adquisición de energía (vapor, calor o electricidad) fuera de la administración de la compañía. En el caso de Collahuasi se considera principalmente el consumo eléctrico adquirido del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)
- **Otras Emisiones Indirectas (Alcance III):** Dentro de esta categoría se incluyen las emisiones de terceros, siempre que estas emisiones se deban a necesidades o actividades de la compañía. Estas emisiones son producidas por empresas que prestan servicios a la compañía, las emisiones de los insumos estratégicos de la compañía y las emisiones que sean el resultado de actividades de la empresa independiente de los acuerdos contractuales que ésta mantenga.

El ECCR considera a las emisiones de alcance III como un opcional, dando la libertad de que cada empresa decida que categorías se consideran para este alcance. Por esto es que al realizar una comparación de los resultados de distintas empresas de un mismo rubro no se consideran las emisiones de éste alcance

### 5.5.3 Resultados de la compañía

Durante el año 2009 CMDIC emite un total de 1.429.677 t CO<sub>2</sub>e (ESPECIFICAR Q SON TON), donde el 69% corresponde a emisiones de alcance II, el 20% corresponde a emisiones de alcance I y el 11% restante son emisiones de alcance III

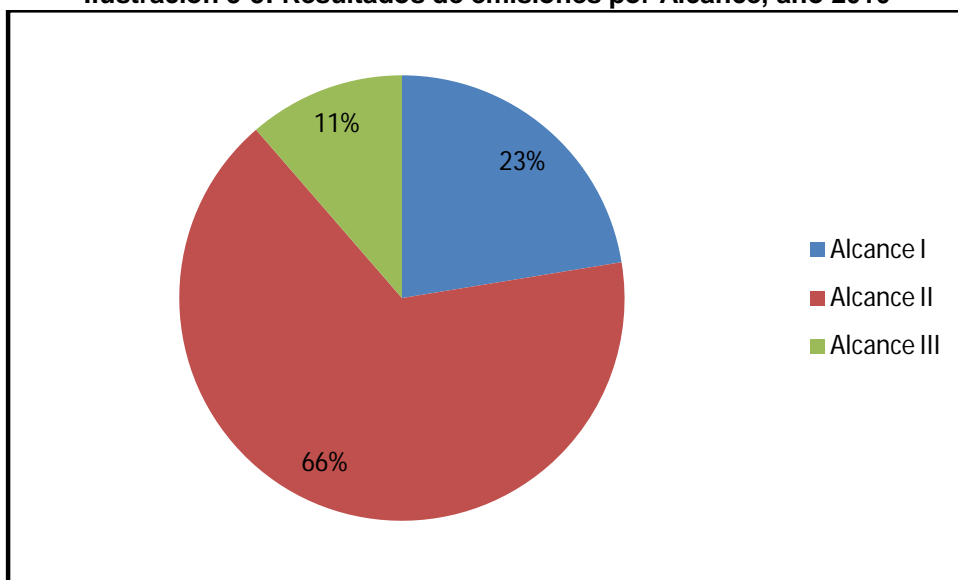
**Ilustración 5-4: Resultados de emisiones por Alcance, año 2009**



**Fuente: Collahuasi**

Durante el año 2010 CMDIC aumenta sus emisiones en un 6%, emitiendo un total de 1.581.575 t CO<sub>2</sub>e, donde el 66% corresponde al alcance II, el 23% corresponde al alcance I y el alcance III se mantiene con el 11%.

**Ilustración 5-5: Resultados de emisiones por Alcance, año 2010**



**Fuente: Collahuasi**

Entre los años 2009 y 2010 el mayor aumento corresponde al alcance I con un 16%, el segundo mayor aumento corresponde al alcance III con un 10%, mientras que el alcance II sólo aumento en un 2%. Cabe destacar que esta variación en las emisiones son producidas por las diferencias en la producción y utilización de equipos,

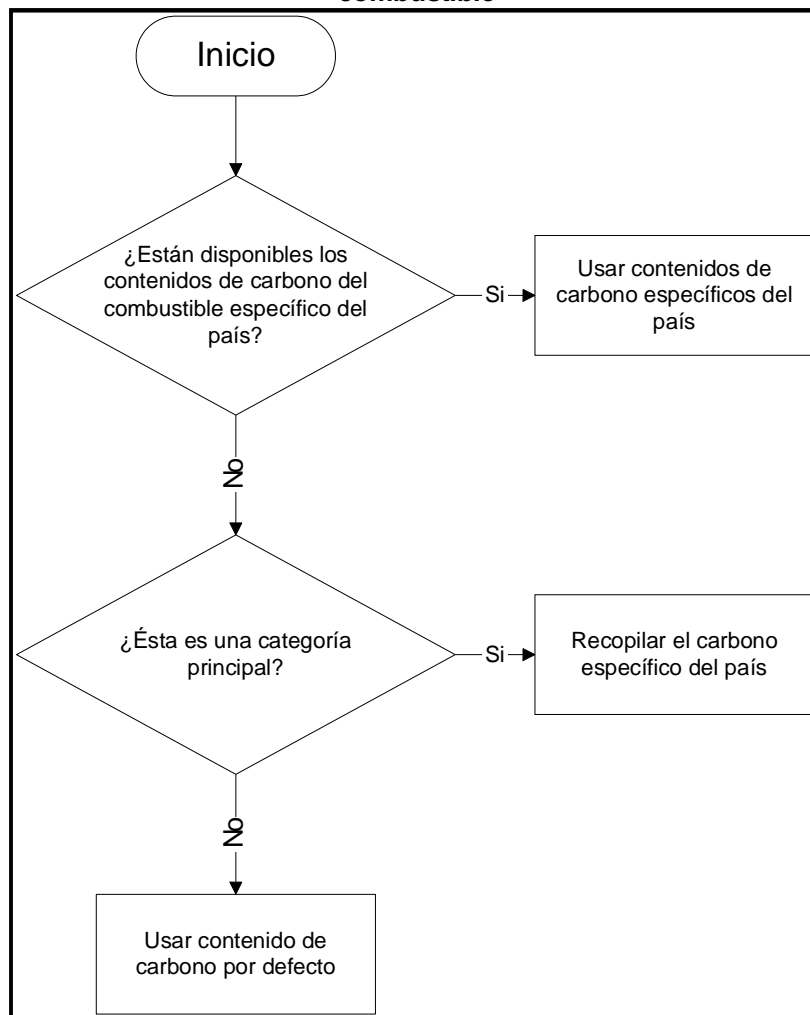
ya que recién se está creando la línea base para hacer gestión utilizando la Huella de Carbono

### 5.5.3.1 Medición para Flota de Vehículos Livianos

Para los vehículos livianos se utiliza la guía de medición realizada por el IPCC en el 2006 para combustión móvil. Esta guía indica que las emisiones generadas durante el proceso de combustión de un vehículo liviano corresponden a CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. También indica una serie de pasos a seguir para determinar la cantidad de GEI emitidos por este concepto.

El primero paso es analizar el CO<sub>2</sub>, donde la mejor forma de estimar las emisiones de este gas es sobre la base de la cantidad y el tipo de combustible quemado. Lo primero que se realiza es seguir el árbol de decisión presentado en la Ilustración 5-6, para conocer el contenido de carbono a utilizar.

**Ilustración 5-6: Árbol de decisión para las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de combustible**



Fuente: IPCC, 2006

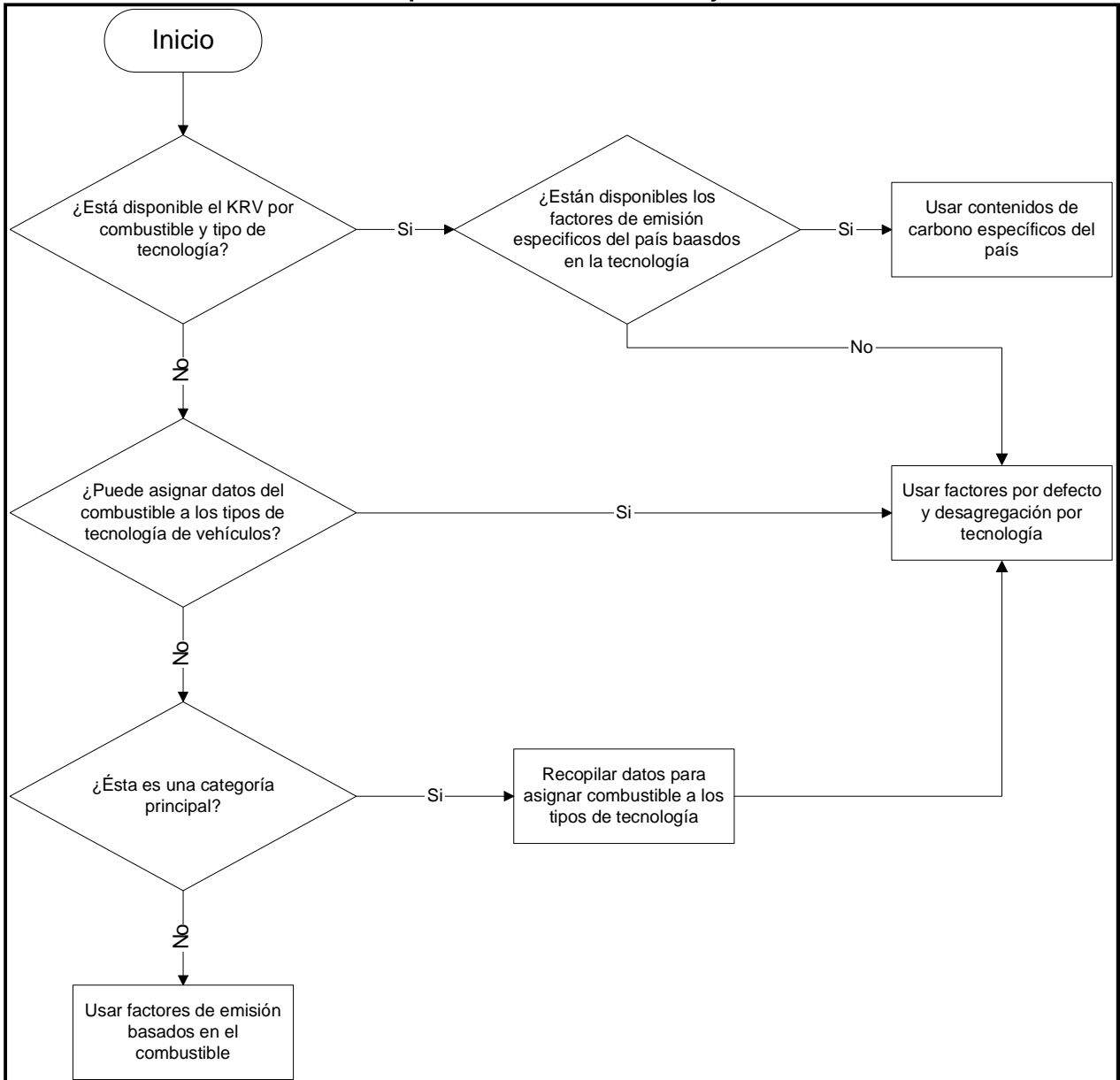
Para el caso particular de la compañía, no se conoce el contenido de carbono en el combustible ni es una categoría principal, por lo tanto se utiliza el contenido de carbono por defecto que recomienda el IPCC, para el caso de este gas se utiliza un factor de emisión de  $2,6765 \text{ Kg/L}^2$  para el diésel de petróleo, siendo este último el combustible que se desea evaluar comparativamente con el uso de biodiésel.

Para el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$  es más complicado, ya que idealmente, las emisiones se miden en base a los kilómetros recorridos por los vehículos (KRV) y al tipo de tecnología del motor, para este caso el IPCC también entrega un árbol de decisión a seguir.

---

<sup>2</sup> Para más detalles ver CAPITULO 11. Anexo C. Procedimientos de Cálculos

**Ilustración 5-7: Árbol de decisión para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de los vehículos Terrestres**



Fuente: IPCC, 2006

Para estos gases, siguiendo el árbol de decisión, no se conoce el KRV de la compañía, ya que el único dato disponible es el consumo del combustible y no el kilometraje recorrido; además tampoco se pueden asignar datos del combustible a los tipos de tecnología del vehículo y una vez más no es una categoría principal, por lo que se utilizan los factores por defecto. Para el caso del diésel se utilizan factores de emisión de 0,00014 Kg/L, tanto para el CH<sub>4</sub> como para en N<sub>2</sub>O.

Si se analizan los consumos de la compañía en relación a de vehículos livianos, podemos ver que el año 2009 se consumió un total de 1.225 M<sup>3</sup>, mientras que el 2010



se consumió un total de 1.124M<sup>3</sup>, estimándose además un consumo para el año 2011 de 1.147 M<sup>3</sup>.

Si se utilizan los datos junto a los factores de emisión y el PCG de cada uno de los gases que las emisiones de GEI por concepto de quema de combustible por la flota de vehículos livianos de la compañía es:

- Emitido 2009: 3.336 T CO<sub>2</sub>e
- Emitido 2010: 3.062 T CO<sub>2</sub>e
- Estimado 2011: 3.123 T CO<sub>2</sub>e

## **5.6 Gestión sobre la Huella de Carbono**

Una de las finalidades de realizar el inventario de GEI es la de realizar gestión sobre este y el tratar de disminuir las emisiones. Por esto CMDIC se guía por modelo de negocio sostenible, de estándar mundial, que se hace cargo de su impacto en el cambio climático, utilizando a la Huella de Carbono como uno de los objetivos estratégicos del 2011. De esta manera busca materializar su política medioambiental, reduciendo así su impacto en este problema de nivel mundial.

Para controlar las emisiones y disminuirlas, las compañías tienden a evaluar distintas iniciativas de mitigación mediante la construcción de curvas de costo de abatimiento.

Las curvas de costo de abatimiento de GEI proporcionan un fundamento cuantitativo para definir cuales acciones son más efectivas en reducir las emisiones a través de un sector o región.

Los costos de abatimiento son aquellos costos adicionales (o beneficios recibidos) al cambiar una tecnología actual de referencia por una tecnología alternativa de bajas emisiones.

Dentro de las distintas iniciativas mitigatorias existentes se tiene al uso de Energías Renovables, dentro de las que se encuentra el uso de biodiésel, que será el combustible a estudiar en el marco de esta memoria.

# **CAPITULO 6. CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL**

## **6.1 Descripción General**

El biodiésel es un combustible producido a partir de biomasa, por lo que se considera una energía renovable. Para la producción de este combustible se utilizan 3 tipos de energía principales: Plantas oleaginosas (colza, soja, girasol, palma, ricino, semilla de cardo, etc.), aceites vegetales usados (procedentes de la industria de alimentación, hotelera, catering u hogares principalmente), y grasa animal (APPA, 2005).

La utilización de biodiésel como combustible puede hacerse en forma pura (100% biodiésel) o en una mezcla con diésel de petróleo. Para esta mezcla se utiliza la nomenclatura B“x”, donde “x” es el porcentaje de biodiésel en la mezcla. Por ejemplo B5 es 5% biodiésel, 95% diésel de petróleo; B20 es 20% biodiésel, 80% diésel de petróleo; B100 es biodiésel puro.

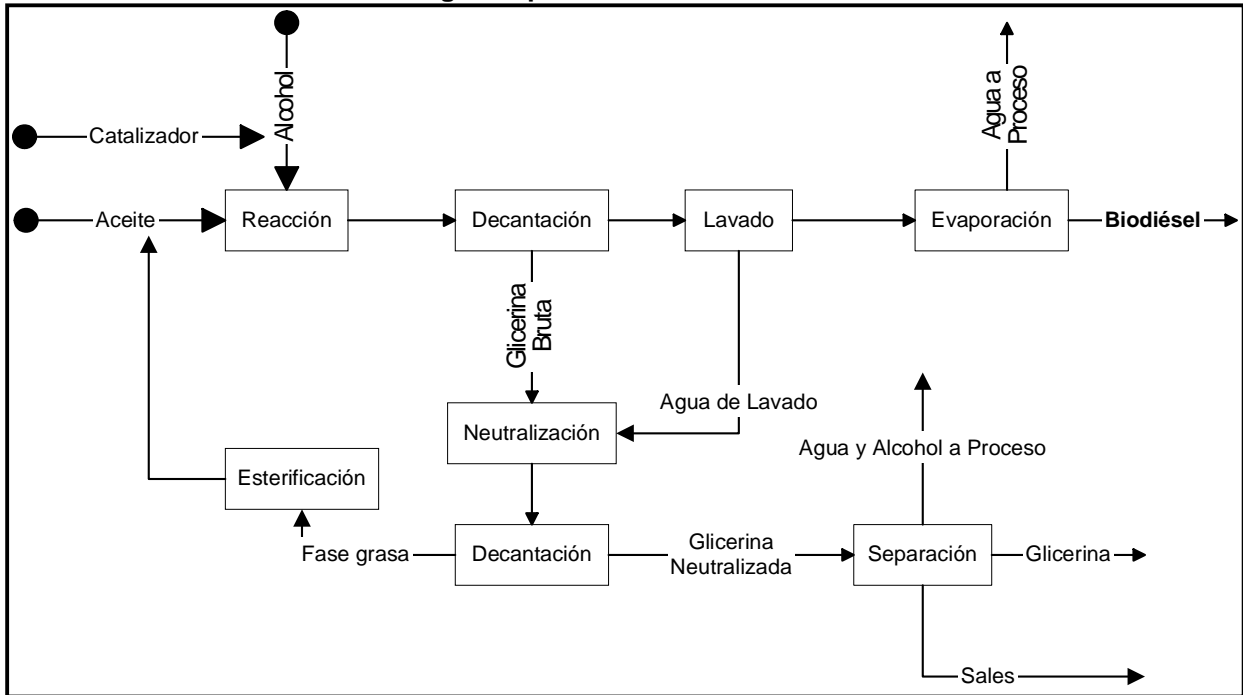
## **6.2 Producción**

Al menos 4 métodos han sido investigados para disminuir la viscosidad del aceite, la finalidad de esto es usar el aceite como combustible en motores Diésel convencionales y evitar problemas operativos. Los métodos son la mezcla con diésel de petróleo, pirolisis, microemulsión y transesterificación. Este último es el método comúnmente utilizado y cuyo resultado es el biodiésel (Knothe, 2005).

### **6.2.1 Transesterificación**

En el proceso de transesterificación los aceites reaccionan al contacto con alcohol, comúnmente metanol o etanol, en presencia de un catalizador alcalino, ácido o enzimático. Luego de un tiempo, donde se agita y decanta, los triglicéridos forman cadenas de ésteres, donde el éster obtenido depende del alcohol utilizado. Este producto del proceso químico es conocido comercialmente como biodiésel, también se obtiene glicerina, en una proporción de un 10% del biodiésel obtenido (ver Ilustración 6-1: Diagrama proceso estándar de Transesterificación.). Los catalizadores más utilizados son el hidróxido de sodio o de potasio (Retana, 2008).

**Ilustración 6-1: Diagrama proceso estándar de Transesterificación.**



Fuente: Retana, 2008.

## 6.3 Características de su uso

### 6.3.1 Mecánicas

Al evaluarse mecánicamente el rendimiento de vehículos alimentados con biodiésel se puede apreciar una disminución en la potencia, esto debido a que los biocombustibles tienen menor energía por unidad de volumen en comparación con el diésel tradicional, aunque este efecto se compensa por el mayor índice de cétano que tiene el biodiésel, mostrando una combustión más eficiente. Por estos motivos es que disminuye el rendimiento del combustible en hasta un 10% con respecto al uso de diésel de petróleo al usar B100 (Agudelo, 2003).

### 6.3.2 Ambientales

Ambientalmente se han realizado diversos estudios encontrándose que, en términos generales, el uso de biodiésel genera mayores emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), pero que se compensa con disminución en las emisiones de hidrocarburos no quemados, o parcialmente quemados (HC); monóxido de carbono (CO); y opacidad en los humos, lo que lleva a que las emisiones de  $\text{CO}_2$  disminuyan (Agudelo, 2003).

A esto se debe agregar que el biodiésel no es tóxico y es biodegradable, lo que implica que posibles derrames de este combustible no tendrá las repercusiones medioambientales que existen con su similar de petróleo (Knothe, 2005). A su vez, un

derrame de una mezcla de biodiésel con diésel de petróleo tendrá una repercusión proporcional al porcentaje de concentración volumétrica de este último.

### 6.3.3 Ventajas y Desventajas

A continuación se presenta una tabla comparativa que muestra las ventajas y desventajas del uso de biodiésel con respecto del diésel EN-590<sup>3</sup>.

**Tabla 6-1: Ventajas y Desventajas del uso de Biodiésel**

Ventajas	Desventajas
Es una energía renovable.	Aumento de un 26% en las emisiones de N <sub>2</sub> O en el ciclo de vida al utilizar biodiésel de aceite oleaginoso en mezcla al 5% frente a diésel EN-590, aunque las emisiones directas aumentan en sólo un 0,5%. Las emisiones directas de N <sub>2</sub> O pueden ser mitigadas con el uso de catalizadores.
Puede utilizarse en motores de inyección directa, sin necesidad de adaptarlos.	Disminución de la Energía contenida <sup>4</sup> (12% menor en peso y 8% menor en volumen), aunque esto es compensado con un aumento en la eficiencia de la combustión, producto del mayor índice de cétano.
Aumenta el índice de cétano, mejorando la combustión, el rendimiento del motor y produciendo menos ruidos.	Tiene un punto de congelación alto, entre -5°C y 0°C). Aunque existen aditivos que permiten el funcionamiento a -20°C.
Disminuye en un 4% el uso de energía fósil en la producción y transporte al comparar el biodiésel de aceite oleaginoso en mezcla al 5% frente a diésel EN-590.	Los costos de producción hacen que en la actualidad el biodiésel no sea competitivo en Chile.
Disminución de un 3% del total de GEI emitidos en el ciclo de vida al utilizar biodiésel de aceite oleaginoso en mezcla al 5% frente a diésel EN-590.	El biodiésel genera corrosión, haciendo que sea incompatible con el uso de algunos plásticos en el motor, debiendo reemplazarse dichas partes.
Al utilizar biodiésel puro las emisiones de dióxido sulfuroso (SO <sub>2</sub> ) se reducen en un 100% y se cierra el ciclo del dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).	Por el alto poder solvente del biodiésel puede soltar impurezas adheridas a los estanques, contaminando así el motor.
El biodiésel puro (B100) es fácilmente biodegradable en condiciones acuáticas y terrestres.	
Pruebas de toxicidad muestran que el biodiésel es considerablemente menos tóxico al compararlo con diésel de petróleo. De todas maneras se debe evitar la ingesta de éste, o el contacto con la piel.	

**Fuente: "CIEMAT, 2006"; "Knothe, 2005"; "APPA, 2005"; "IDAE, 2006"; "Muñoz, 2010"; "Lamoreaux, 2007"; "EPA, 2002"; "Retana, 2008".**

<sup>3</sup> EN-590: Norma europea de combustible para automóviles – Diésel – Requerimientos y métodos de prueba (UE, 2010).

<sup>4</sup> Energía contenida en biodiésel de primera generación. En biodiésel de segunda generación, dependiendo de su materia prima, puede aumentar la energía acumulada por unidad de volumen en hasta un 60% (Azócar, 2010).

## 6.4 Estudios Anteriores

Dentro de muchos estudios realizados en las últimas 2 décadas que buscan comprobar el impacto del uso de biodiésel, se presentan dos estudios, cuyos resultados son interesantes, por tratarse de pruebas hechas en vehículos livianos y tratando de abarcar el mayor número de variables posibles.

### 6.4.1 Universidad de Missouri

La universidad de Missouri realizó un estudio entre los años 1993 y 1995, donde pone a prueba 2 camionetas marca Dodge con motores de 6 cilindros, turbo cargados de 5.9L, marca Cummings. Las camionetas son fabricadas en los años 1991 y 1992 (Schumacher, 1995).

La camioneta del año 1991 recorre 85.060 km. en 1.524,8 horas, siendo alimentada por biodiésel B100.

La camioneta del año 1992 recorre 80.243 km. en 1.259,3 horas, siendo alimentada por el mismo combustible.

Para realizar el estudio, ambos vehículos se alimentan con diésel de petróleo los primeros meses, usando ese periodo como base del análisis estadístico.

Del estudio se concluye que:

- El consumo promedio de combustible disminuye de 9.9 Km/L, al ser alimentado por diésel, a 9,5 Km/L al ser alimentado por biodiésel B100, disminuyendo el rendimiento en un 4%.
- La potencia aumenta en un 3% para el vehículo de 1991, y disminuye en un 7% para el vehículo de 1992.
- El vehículo de 1991 tiene un comportamiento medioambiental según lo esperado, disminuyendo las emisiones de CO (-47,2%), CO<sub>2</sub> (-0,8%) y HC (17,4%), pero aumentando los niveles de NOx (+20,1%). El vehículo de 1992 disminuyen las emisiones de CO<sub>2</sub> (-4,1%), se mantienen las emisiones de HC (0,0%), pero las emisiones de NOx (+5,8%) y CO (+4,3%) aumentan.
- Un análisis de laboratorio determina que el desgaste del motor es el esperado para el kilometraje, no siendo este desgaste atribuible al uso de biodiésel.

### 6.4.2 Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

Un estudio realizado por el 6.4.2 Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), en España, busca analizar el ciclo de vida

del biodiésel. Para esto se utiliza un vehículo de prueba representativo del parque automotriz español, siendo éste un Ford Focus 1.8 TDdi 90 CV, el que tiene un rendimiento promedio de 18,52 km/l (CIEMAT, 2006).

Para este estudio se realizan mediciones de emisión de contaminación para el uso de diésel de petróleo, biodiésel y mezcla de estos. Para la fabricación de biodiésel se utiliza aceite vegetal puro (A1) y aceite vegetal residuo de la industria alimenticia (A2).

Las mezclas utilizadas son: diésel de petróleo puro, B5A1, B10A1, B100A1, B5A2, B10A2 y B100A2. Las que se contrarrestan con el Diesel EN590

Utilizando la información obtenida del estudio para la mezcla B5A2 comparándola con diésel de petróleo, se concluye que:

- 2% de ahorro en la energía primaria total en la producción y distribución.
- 3% de ahorro en la energía fósil utilizada en la producción y distribución.
- Disminución de un 3,9% en las emisiones de CO<sub>2</sub> y un aumento de un 15,4% en las emisiones de CH<sub>4</sub> y de un 26,3% en las emisiones de N<sub>2</sub>O.
- Disminución de un 3% en la emisión de efectos invernadero en la producción, distribución y uso del combustible.

## **6.5 Uso y Normativa Internacional**

### **6.5.1 Mezclas más utilizadas**

El biodiésel se puede utilizar de manera pura (B100), o en una mezcla de biodiésel puro con diesel. La mezcla más difundida es la B20, también se utiliza B5, aunque en este caso se suele considerar como un aditivo del diésel de petróleo (Retana, 2008).

### **6.5.2 Normativa Europea**

La regulación del biodiésel está dado por la Norma EN 14214 del *Comité Européen de Normalisation (CEN)*, la que nos muestra las condiciones que debe cumplir.

**Tabla 6-2: Requisitos generales aplicables para el biodiésel –CEN EN 14214.**

Property	Unit	Limits	
		minimum	maximum
Fame Content	% (m/m)	96,5	-
Density @ 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	860	900
Viscosity @ 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,50	5,00
flash point	°C	101	-
Sulfur content	mg/kg	-	10,0
Carbon residue (on 10% distillation residue)	% (m/m)	-	0,30
Cetane number	-	51,0	-
Sulfured ash content	% (m/m)	-	0,02
Water content	mg/kg	-	500
Total contamination	mg/kg	-	24
Cooper strip corrosion (3 h @ 50°C)	rating	class 1	
Oxidation stability, 110°C	hours	6,0	-
Acid value	mg KOH/g	-	0,50
Iodine Value	g iodine/100g	-	120
Linolenic acid methyl ester	% (m/m)	-	12,0
Polyunsaturated (≥ 4 double bonds) methyl esters	% (m/m)	-	1
Methanol content	% (m/m)	-	0,20
Monoglyceride content	% (m/m)	-	0,80
Diglyceride content	% (m/m)	-	0,20
Triglyceride content	% (m/m)	-	0,20
Free glycerol	% (m/m)	-	0,02
Total glycerol	% (m/m)	-	0,25
Group I metals (Na+K)	mg/kg	-	5,0
Group II metals (Ca+Mg)	mg/kg	-	5,0
Phosphorus content	mg/kg	-	4,0

Fuente: UE, 2008.

### 6.5.3 Normativa Estadounidense

La normativa estadounidense está dada por la norma ASTM D6751 de la “*American Society for Testing and Materials (ASTM) International*”, cuya oficina central está ubicada en West Conshohocken, Pa, USA. Esta entidad define la calidad mínima del biodiésel según las siguientes especificaciones:

**Tabla 6-3: Specification for Biodiésel (B100) – ASTM D6751-10**

Property	Units	Limits	
		Min	max
Calcium & Magnesium, combined	ppm( $\mu\text{g/g}$ )	-	5
Flash Point (closed up)	$^{\circ}\text{C}$	93	-
Alcohol Control (one to be met)			
1. Methanol Content	Mass %	-	0,2
2. flash point	$^{\circ}\text{C}$	130	-
Water & Sediments	% vol.	-	0.05
Kinematic Viscosity, 40 $^{\circ}\text{C}$	mm <sup>2</sup> /sec	1,9	6,0
sulfurated Ash	% mass	-	0,02
S 15 Grade	% mass	-	0,0015
S500 Grade	% mass	-	0,05
Cooper Strip Corrosion		No. 3	
Cetane		47	-
Cloud Point	$^{\circ}\text{C}$	Report	
Carbon Residue 100% sample	% mass	-	0,05
Acid Number	mg KOH/g	-	0,5
Free Glycerin	% mass	-	0,020
Total Glycerin	% mass	-	0,240
Phosphorous content	% mass	-	0,001
Distillation	$^{\circ}\text{C}$	-	360
Sodium/Potassium, combined	ppm( $\mu\text{g/g}$ )	-	5
Oxidation Stability	hours	3	-
Cold Soak Filtration	seconds	-	360
For use in temperatures below -12 $^{\circ}\text{C}$	seconds	-	200

Fuente: biodiesel.org, 2010.

## 6.6 Marco Legal Chileno

A partir del año 2006 el Ministerio de Agricultura incluye un eje estratégico donde se busca ampliar la matriz de energía del país (IICA, 2010). Siguiendo la línea de acción de este Ministerio es que comienzan los estudios de factibilidad técnico económica del uso de biocombustibles en Chile.

Para asegurar el correcto uso de biocombustibles en Chile se crea un marco regulatorio que norma el uso de biocombustibles, que a su vez dan señales de que el país quiere avanzar en dichas tecnologías, destacándose las siguientes:

### 6.6.1 Decreto N°11/2008 del Ministerio de Economía

Define al biodiésel, mediante el artículo 5° de la siguiente forma:” biodiésel es todo combustible líquido compuesto por una mezcla de ésteres alquílicos obtenidos a partir de aceites vegetales, grasa animal o aceite comestible usado, según las especificaciones que se detallan en el artículo 7° del presente decreto”. Además el biodiésel es caracterizado en el artículo 7° mediante la siguiente caracterización:



**Tabla 6-4: Especificaciones de calidad biodiésel chilena**

<b>Propiedad</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Valor</b>
Densidad a 15°C	g/cm <sup>3</sup>	Mín. 0,86; Máx. 0,90
Viscosidad a 40°C	mm <sup>2</sup> /s (cST = centiStrokes)	Mín. 3,5; Máx. 5,0
Punto de inflamación	°C	Mín. 120
Punto de escurrimiento	°C	Máx. -1
Azufre total	% masa	Máx. 0,005
Residuos de Carbono Conradson (CCR) al 100%	% masa	Máx. 0,05
Contenido de ceniza sulfatada	% masa	Máx. 0,02
Agua y sedimentos	% volumen	Máx. 0,05
Corrosión de la lámina de cobre (3 horas, 50°C)	Grado de corrosión	Máx. N°2
Valor de neutralización (valor de ácido KOH/g)	Mg KOH/ g muestra	Máx. 0,5
Contenido de éster	% masa	Mín. 96,5
Contenido de Metanol	% masa	Máx. 0,20
Glicerina libre	% masa	Máx. 0,02
Glicerina total	% masa	Máx. 0,25
Fósforo	mg/Kg	Máx. 10
Contenido de alcalinos (Na+K)	mg/Kg	Máx. 5
Contenido de Metales (Ca+Mg)	mg/Kg	Máx. 5
Estabilidad a la oxidación a 110°C	Horas	Mín. 6

**Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. DS N°11/2008, Ministerio de Economía.**

El Decreto Supremo, en el artículo 12, además especifica que el biodiésel se puede mezclar en un 2% (B2) ó 5% (B5) del volumen restante de la mezcla, especificando en el artículo 13 que el combustible resultante de la mezcla debe cumplir a su vez con las respectivas especificaciones de los combustibles fósiles que han sido objeto de la mezcla (Chile, 2008a).

#### **6.6.2 Decreto N°128/2008 del Ministerio de Minería**

Mediante este decreto se crea la comisión asesora interministerial en materia de biocombustibles en Chile, definiendo la participación de 11 ministerios que son presididos por el Ministro Presidente de la Comisión Nacional de Energía y siendo los Ministros de las carteras participantes los miembros titulares, quienes deberán participar en, a lo menos, dos sesiones que reúnan a la totalidad de estos. Además tendrán la facultad de designar un representante que participe en las reuniones mensuales de la comisión (Chile, 2008b).

### **6.6.3 Resolución 142/2009 EXENTA del Ministerio de Economía**

Establece, mediante el artículo 1° que “se establece un registro en el que deberán inscribirse, previo a la iniciación de sus actividades, todas las personas naturales o jurídicas que realicen actividades de producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución, mezcla y comercialización de biocombustibles y sus instalaciones, de acuerdo con los formularios anexos que se acompañan en esta resolución y que forman parte integrante de la misma”. Estableciendo procedimientos y plazos para el registro (Chile, 2009).

### **6.6.4 Circular N°30/2007, Servicio de Impuestos Internos**

Existe tratamiento diferenciado en el tema tributario de los biocombustibles, especialmente dirigido al biodiésel y el bioetanol, especificando que dichos combustibles no están afectos a los tributos relacionados al impuesto parcial a la primera venta establecidos en el artículo 6° de la Ley N° 18.502, de 1986; Impuesto establecido en la Ley N° 19.030, de 1991, que crea el fondo de estabilización de precios del petróleo; y al impuesto establecido en el artículo 42° del D.L. N° 825, de 1974, aplicable a las bebidas alcohólicas, analcohólicas y productos similares. Estableciendo que en el combustible resultante de la mezcla de combustibles derivados del petróleo y biocombustibles, sólo se pagarán los impuestos al porcentaje correspondiente a los derivados del petróleo del combustible (Chile, 2007).

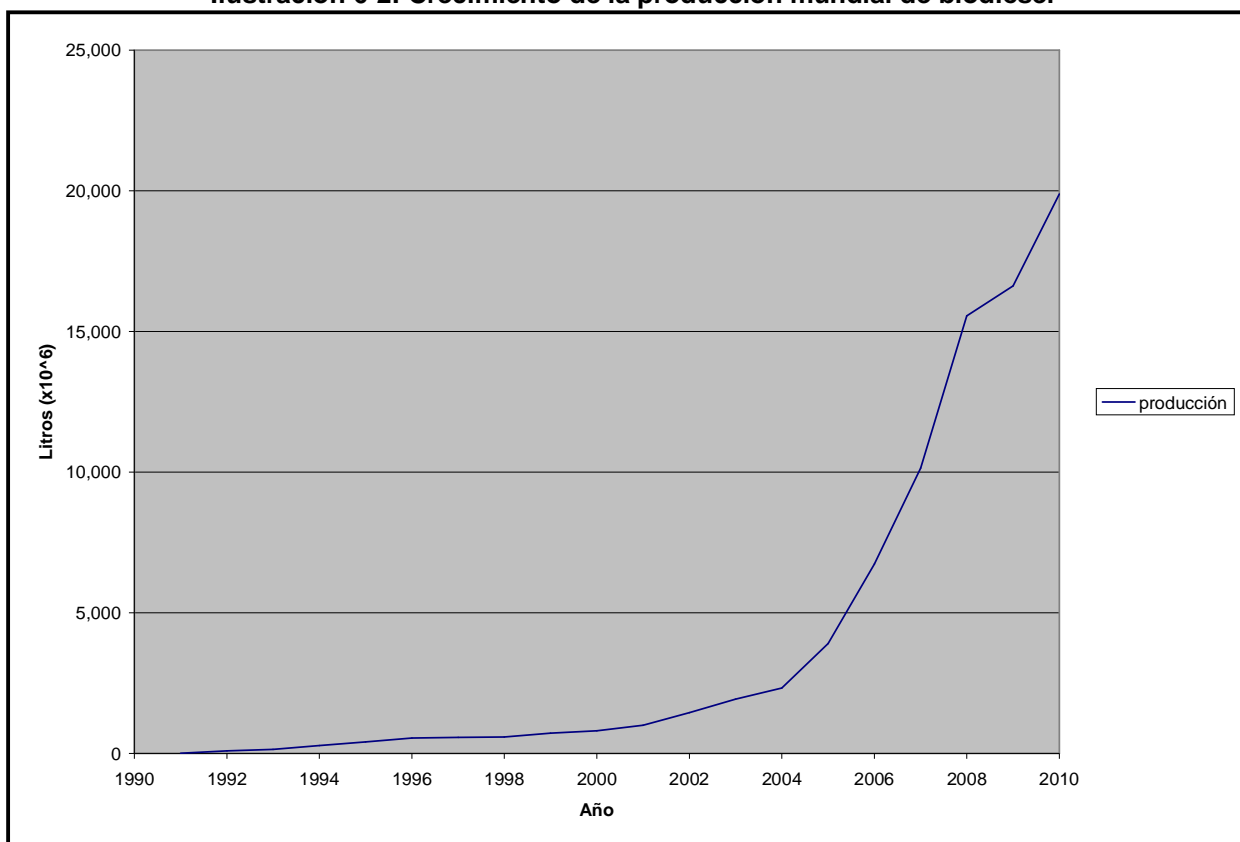
## **6.7 Producción**

### **6.7.1 Mundial**

El uso de biodiésel está ligado a la concepción misma de este tipo de energías, ya que Rudolph Diésel al presentar su motor en la feria internacional de 1900 en París se refiere a los combustibles que los alimentan de la siguiente forma: “El uso de los aceites vegetales como combustible para motores puede ser insignificante hoy. Pero estos aceites podrían ser, eventualmente tan importantes como el petróleo o los productos derivados del carbón mineral en la actualidad” (Morones, 2006), habiendo éste incluso utilizado aceite de maní en uno de los motores presentados en dicha feria, a pedido del gobierno francés (Knothe, 2005).

A pesar de que se conocía su potencial a fines de siglo XIX, no fue hasta principio de los 90' que se empieza a explotar su uso y a registrar estadísticas al respecto, es así que se tiene un incremento sostenido desde 11 millones de litros en 1991 hasta casi 20 mil millones de litros estimados en el 2010 (ver Ilustración 6-2: Crecimiento de la producción mundial de biodiésel), donde sólo 5 países produjeron el 62% de la producción mundial en el año 2010 (ver Tabla 6-5: Producción de principales productores biodiésel)

**Ilustración 6-2: Crecimiento de la producción mundial de biodiésel**



Fuente: EPI, 2011.

**Tabla 6-5: Producción de principales productores biodiésel**

País	Producción 2010 (Millones de Litros)
Estados Unidos	2841
Argentina	2614
Alemania	2500
Francia	2386
Brasil	1932

Fuente: EPI, 2011.

### 6.7.2 Chile

Aunque en Chile no existe una producción significativa de biodiésel (IICA, 2010), si existen diversos estudios que buscan determinar el potencial productivo del país para la generación de este tipo de combustible, destacándose el estudio realizado por Roberto Muñoz, que muestra la posibilidad de autosustentarse utilizando principalmente plantaciones de Raps, las que podrían cubrir escenarios de sustitución de un 2% o 5%

de la demanda total de diésel en Chile; aunque para lograr que el biodiésel sea competitivo, se necesitaría un precio de crudo WTI<sup>5</sup> equivalente de 184,6 USD/bbl (Muñoz, 2010). Actualmente el precio no supera los 110 USD/bbl<sup>6</sup> y el máximo histórico se alcanzó en junio de 2008, donde según datos públicos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), se alcanzó un precio del marcador WTI del crudo de 134,08 US\$/bbl.

## 6.8 Demanda Futura

### 6.8.1 Mundial

Según la *U.S. Energy Information Administration (EIA)*, en su pronóstico hecho durante el año 2010, se espera que entre el año 2007 y el año 2035 exista un aumento de la energía de un 49,3%, equivalente a un incremento promedio de un 1,4% anual. De este crecimiento, el consumo de combustibles líquidos<sup>7</sup> se espera que sea de sólo un 27,97%, aunque seguiría siendo el tipo de combustible más utilizado. La disminución de su porcentaje de participación se debe principalmente al reemplazo de termoeléctricas que funcionan en base a derivados del petróleo por fuentes de energías renovables; sin embargo, dada la ausencia de avances tecnológicos significantes, los combustibles líquidos seguirán liderando el mercado mundial de transporte.

Al observar el comportamiento del biodiésel dentro del consumo mundial de combustibles líquidos, se aprecia que en el periodo 2010 – 2035, el crecimiento esperado del biodiésel es de un 7,11% anual, muy superior al crecimiento esperado de los combustibles líquidos.

Este crecimiento se explica, en parte, por la preocupación global de implementar sistemas de energías renovables, preocupación que se aprecia en iniciativas como las mostradas por Brasil, Canadá, Estados Unidos, India, Francia y Alemania, entre otros países; donde existen políticas públicas enfocadas a implementar la obligatoriedad de que se mezcle el diésel tradicional con biodiésel en un porcentaje mínimo obligatorio de al menos un 2% (Winter, 2009). Si a esto se suma que la producción esperada de petróleo crudo en el mismo periodo no tenga ninguna variación importante, se puede determinar que el aumento del uso de combustible líquido se explica fundamentalmente por el crecimiento de otros subproductos del petróleo, etanol, biodiésel y combustibles líquidos provenientes de gas o carbón principalmente.

---

<sup>5</sup> WTI (*West Texas Intermediate*): Precio de referencia internacional de crudo de petróleo.

<sup>6</sup> Precio promedio WTI, abril 2011: 109,98 USD/bbl (Ver CAPITULO 11. Anexo B. ÍNDICE )

<sup>7</sup> Para combustibles líquidos se consideran combustibles tradicionales (derivados del petróleo tradicionales) y no convencionales (biocombustibles, gas a liquido, carbón a liquido, derivados de petróleo no convencionales)

## **6.8.2 Chile**

En Chile existe biodiésel a nivel piloto o de prueba, con estudios formales de producción utilizando como materia prima al material lignocelulósico, además de las micro y macro algas (biodiésel de segunda generación). Para estos dos tipos de estudio se realizaron convocatorias para la creación consorcios tecnológicos empresariales de investigación, donde para el caso lignocelulósico se crean 2 consorcios y para micro y macro algas se crean 3. En conjunto, estos 5 consorcios, tienen un financiamiento superior a los MUS\$25 para investigación y desarrollo (Arriaza, 2010).

El problema es la inexistencia actual de una política definida de biocombustibles, esto debido a la escasa posibilidad de producción de biocombustibles de primera generación, pero se muestra una gran potencialidad país en la producción de biocombustibles de segunda generación, debido a que estos últimos no compiten con los alimentos, no afectan la biodiversidad, permiten la captura de CO<sub>2</sub>, entre otras ventajas.

Además, existen fuertes razones para impulsar una política sólida de biocombustibles por la necesidad de asegurar el suministro energético diversificando la matriz energética y para lograr un crecimiento económico sustentable en el que es fundamental compensar el aumento actual de generación térmica a carbón con otras fuentes de energías limpias.

Por esto es que el país, actualmente, cuenta con las bases de la política que quiere crear, donde el objetivo es “desarrollar un mercado gradual de biocombustibles, aprovechando las opciones de primera generación y fomentando la investigación y el desarrollo sostenible de los recursos potenciales para la producción de biomasa de segunda generación (lignocelulosa y algas)”. Para esto se desea incorporar los biocombustibles en un equivalente al 10% de los combustibles consumidos por vehículos motorizados terrestres al año 2020, para lo cual se debe potenciar el desarrollo de la industria chilena de biocombustibles (Ruiz, 2009).

## **6.9 Mercado Potencial**

### **6.9.1 Chile**

Para determinar el mercado potencial de Chile es necesario identificar el consumo producido por vehículos livianos de Diésel, además de identificar cuáles son las variables que pueden afectar dicho consumo.

Primero se caracteriza el consumo de diésel para vehículos livianos, utilizando la información que provee la Comisión Nacional de Energía (CNE) de Chile, que muestra en sus informes de balance energético emitidos para los años comprendidos entre el 2005 y el 2009, como varía el consumo en el segmento Comercial, Publico y Residencial (CPR) y su evolución en el tiempo, donde se puede apreciar que hasta el año 2008 se presenta un aumento estable en el consumo, aunque el año 2009 existe

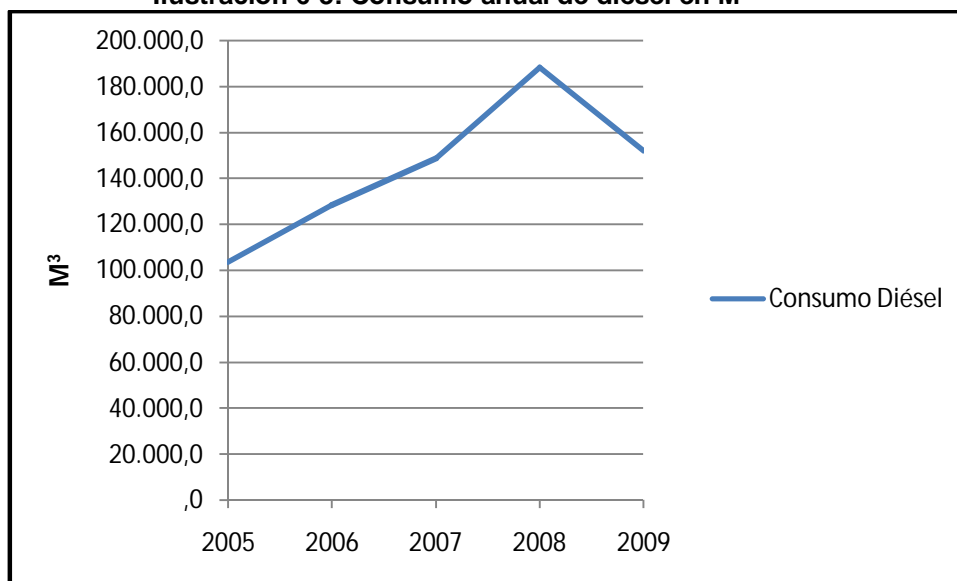
una disminución en este. Este efecto se puede deber principalmente a la crisis económica que afecto al mundo dicho año.

**Tabla 6-6: Consumo de Diésel anual en M<sup>3</sup>**

Año	Consumo
2005	119.205
2006	114.700
2007	126.190
2008	198.310
2009	162.099

Fuente: CNE.

**Ilustración 6-3: Consumo anual de diésel en M<sup>3</sup>**



Fuente: CNE.

Dentro del consumo existen dos variables fundamentales que influyen en él, la primera es el parque automotriz y la segunda es el precio de los combustibles.

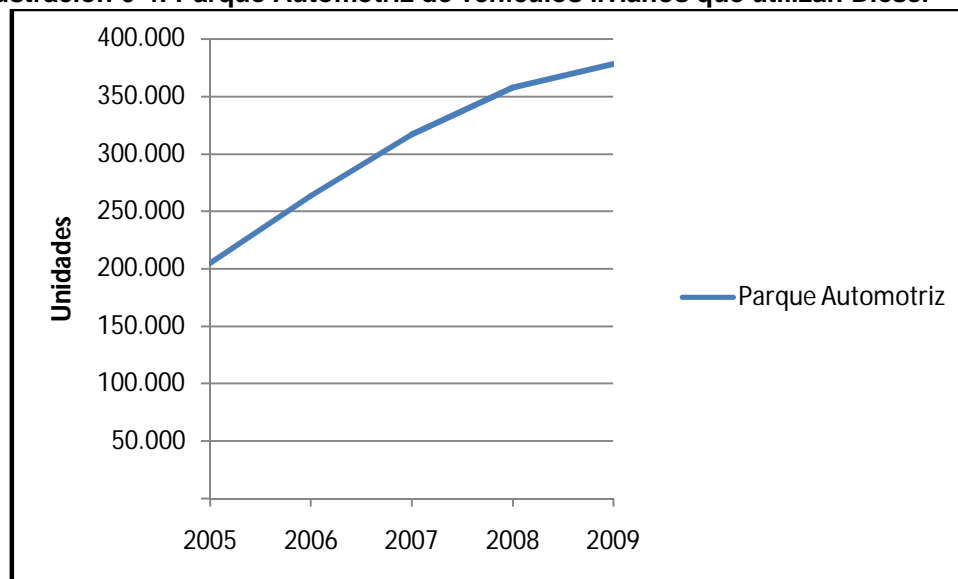
Primero se observa el parque automotriz. El Instituto de Nacional de Estadísticas (INE) de Chile entrega un reporte anual del parque automotriz. En dichos informes se puede apreciar que entre los años 2005 y 2009 existe un crecimiento promedio de un 16,5% anual en el parque automotriz de vehículos livianos que utilizan Diésel, aunque este crecimiento ha ido decayendo con el tiempo ya que durante el año 2006 el crecimiento fue de un 28%, mientras que en el año 2009 no supera al 6%. Los datos concretos se muestran a continuación.

**Tabla 6-7: Parque Automotriz**

<b>Año</b>	<b>Parque Automotriz</b>	<b>Variación</b>
2005	205.089	-
2006	263.203	28%
2007	317.136	20%
2008	357.755	13%
2009	377.934	6%

Fuente: INE.

**Ilustración 6-4: Parque Automotriz de vehículos livianos que utilizan Diésel**



Fuente: INE.

Segundo observaremos el mercado de los combustibles. Para esto utilizaremos el indicador *West Texas Intermediate* (WTI), este indicador es uno de los dos utilizados por el mercado chileno para fijar el precio de venta de los productos derivados del petróleo y se basa en las transacciones que ocurren en el Golfo de México, en Estados Unidos. El segundo el petróleo Brent, aunque este último se utiliza como referencia para el mercado europeo.

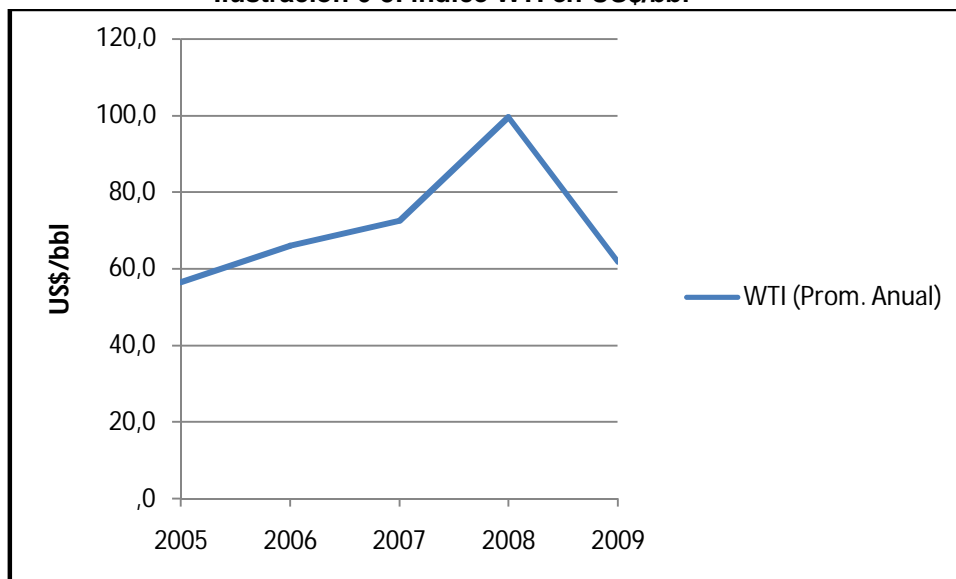
Para este indicador se utiliza la información entregada por la CNE, la que muestra como en los últimos años el precio ha tenido una tendencia al alza, aunque al igual que en el caso del consumo en el año 2009 disminuyó el precio promedio del Barril. Los precios son los que se pueden apreciar a continuación.

**Tabla 6-8: Índice WTI en US\$/bbl**

<b>Año</b>	<b>WTI Prom. Anual (US\$/bbl)</b>
2005	56,5
2006	66,0
2007	72,6
2008	99,6
2009	61,8

Fuente: CNE.

**Ilustración 6-5: Índice WTI en US\$/bbl**



Fuente: CNE.

Analizando toda la información mostrada se aprecia que existe una correlación entre los distintos factores mostrados, según se señala a continuación.

**Tabla 6-9: Matriz de Correlación del Consumo Diésel, precio del WTI y el Parque Automotriz**

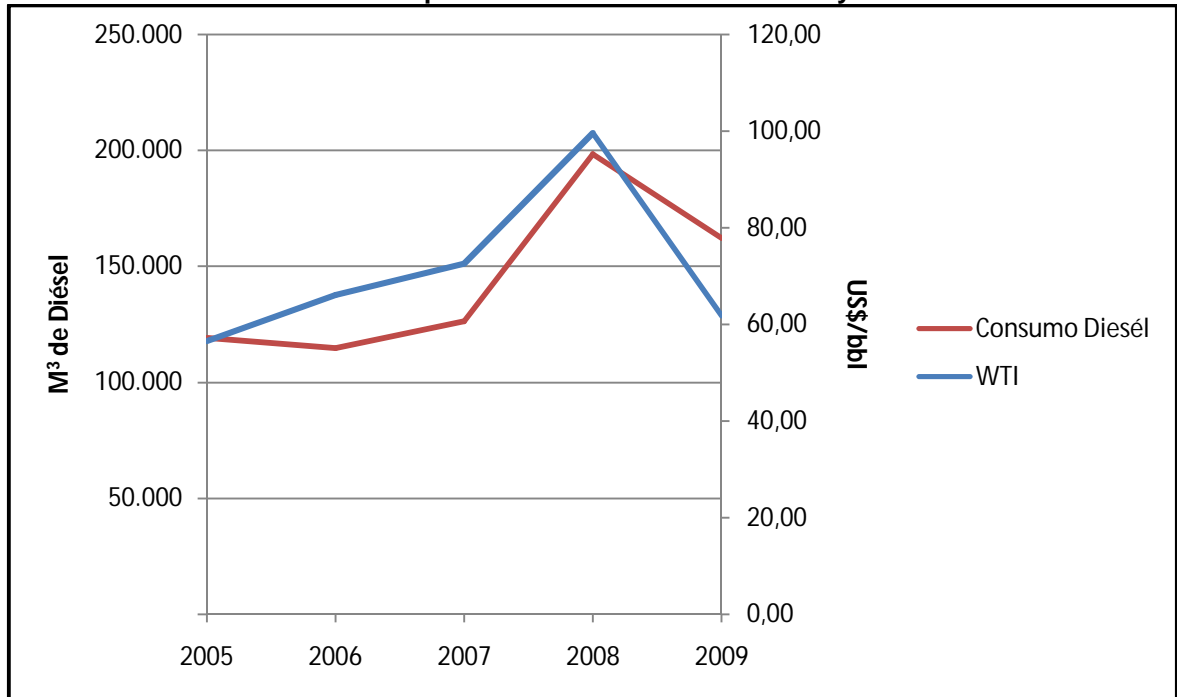
	<i>WTI</i>	<i>Consumo Diésel</i>	<i>Parque Automotriz</i>
WTI	1	0,775695407	0,527405068
Consumo Diésel	0,775695407	1	0,762461912
Parque Automotriz	0,527405068	0,762461912	1

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNE y el INE.

Al comparar el precio del WTI y el consumo de Diésel en el sector CPR chileno, el factor de correlación es de 0,78 y este valor se puede deber al hecho de que ambos indicadores muestran cómo se comporta el mercado de los combustibles, por lo que deberían tender a comportarse de manera parecida. Se puede apreciar un gráfico comparativo de ambos índices a continuación.



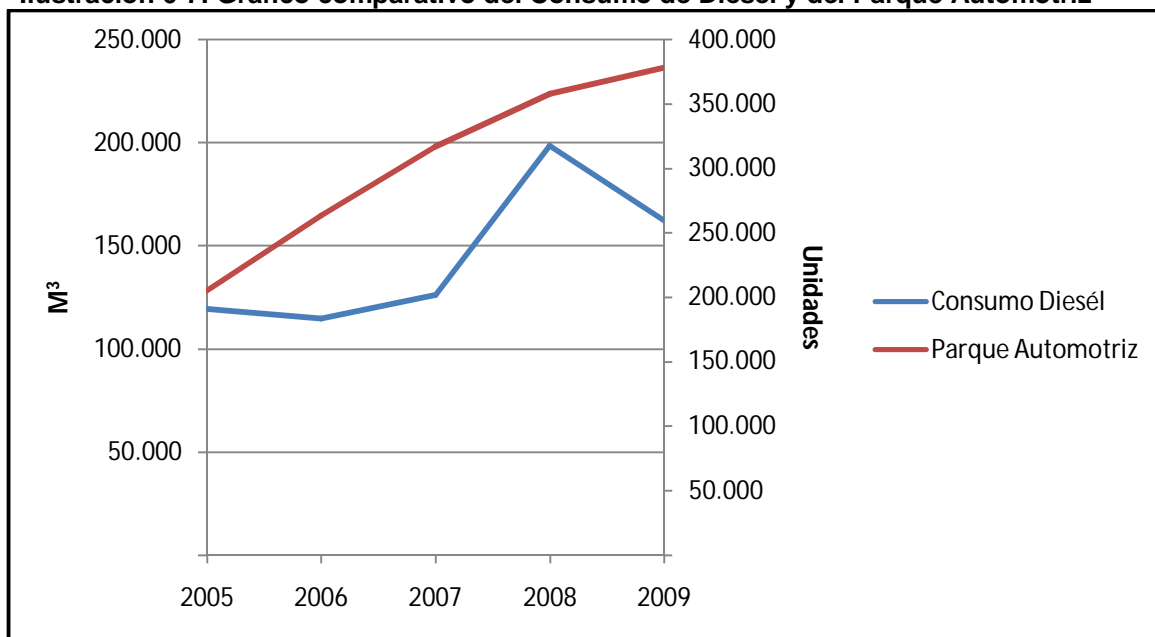
**Ilustración 6-6: Gráfico comparativo del Consumo de Diésel y del Índice WTI**



Fuente: CNE.

También es importante mostrar que existe una correlación, aunque el factor de correlación es de sólo 0,53; entre el parque automotriz de vehículos diésel y el consumo de éste, la correlación se debe a que, obviamente, dichos vehículos consumen el combustible estudiado, y se debe considerar que los vehículos son un activo que una vez ingresado al parque automotriz se mantiene en el tiempo, no como el combustible que se consume con el uso y se está obligado a adquirir más. Un gráfico comparativo de este hecho se muestra a continuación.

**Ilustración 6-7: Gráfico comparativo del Consumo de Diésel y del Parque Automotriz**



Fuente: CNE.

Al analizar el mercado de los combustibles, en especial el del biodiésel, se aprecia que es uno de los mercados claves en el crecimiento del país, por lo que es de gran interés el dimensionar cual sería el tamaño del mercado del biodiésel, en caso de que reemplazara al diésel de petróleo, usando la máxima concentración permitida en la legislación chilena (biodiésel B5). Para esto se utilizan los datos de los consumos entregados por la CNE y la información entregada por la EPA, donde se estima una disminución de un 0,5% en la potencia del vehículo al utilizar este combustible.

Un resumen de las necesidades de biodiésel para el periodo considerado se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 6-10: Consumo de Diésel y su equivalente en Biodiésel B5**

Año	Consumo Diésel (M³)	Parque Automotriz	Equivalente estimado de Biodiésel (M³)	95% Diésel (M³)	5% Biodiésel (M³)	Biodiésel por Vehículo (litro)
2005	119.205	205.089	119.804	113.814	5.990	29,21
2006	114.700	263.203	115.276	109.513	5.764	21,90
2007	126.190	317.136	126.824	120.483	6.341	20,00
2008	198.310	357.755	199.307	189.341	9.965	27,86
2009	162.099	377.934	162.914	154.768	8.146	21,55

Fuente: Elaboración propia con datos de la CNE y el INE.

## 6.9.2 Collahuasi

Al analizar los consumos de combustible de la compañía se tienen variados mercados potenciales, para el caso de este análisis dichas fuentes se separarán en dos sub grupos de análisis. El primero son los vehículos livianos, en el que se enfriará el análisis; y segundo otros equipos, de modo que permita visualizar el potencial total de la compañía.

Para poder caracterizar ambos segmentos se utiliza información provista por la compañía.

### 6.9.2.1 Vehículos Livianos

El Consumo de combustible relacionado al uso de los vehículos livianos de la compañía, el que influye dentro de la medición de la Huella de Carbono dentro del Alcance I, ha experimentado un aumento constante en el periodo 2007-2009, sin embargo tuvo una disminución en el año 2010. A partir del año 2011 se espera que el consumo de combustibles mantenga un alza aproximada de un 2% anual, aunque este valor es pequeño si se considera que la compañía espera duplicar su capacidad productiva de aquí al 2020, la tasa de crecimiento mostrada considera el hecho que la mayor parte del personal se mueve en buses de acercamiento y los vehículos que, actualmente se utilizan, son de apoyo operacional y para agilizar la respuesta en caso de una contingencia. Dados los escenarios pasados y futuros esperados se presenta a continuación los consumos netos y esperados para el periodo 2007-2015.

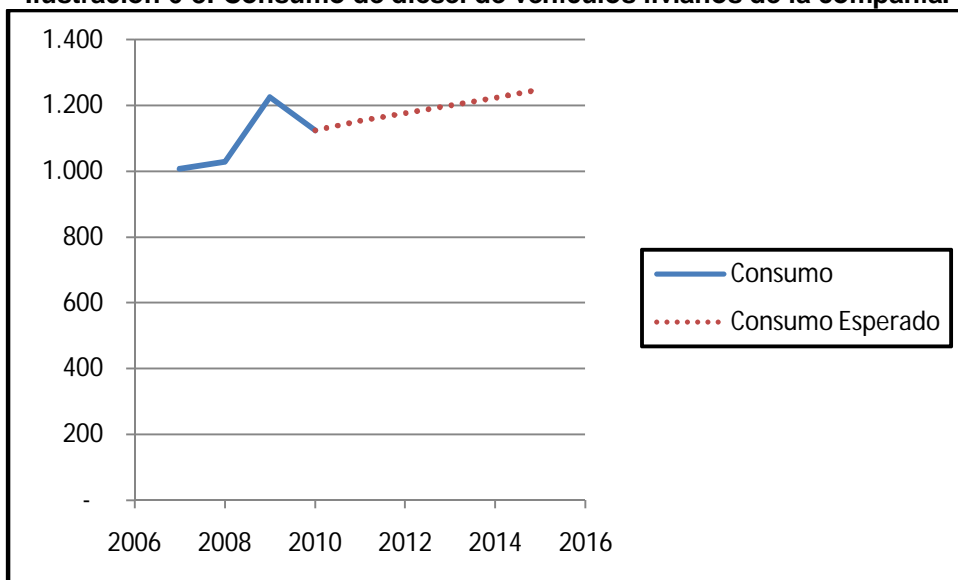
**Tabla 6-11: Consumo de diésel por parte de vehículos livianos de la compañía.**

<b>Año</b>	<b>Consumo (M<sup>3</sup>)</b>
2007	1.007
2008	1.029
2009	1.225
2010	1.124
2011*	1.153
2012*	1.176
2013*	1.199
2014*	1.223
2015*	1.248

\*: Consumo esperado

**Fuente: Collahuasi.**

**Ilustración 6-8: Consumo de diésel de vehículos livianos de la compañía.**



**Fuente: Collahuasi.**

Para comprender el consumo también se debe conocer como se compone el parque automotriz de la compañía. Esta arrienda los vehículos que tiene a disposición contando con un total de 300 vehículos, de los cuales el 83% corresponden a vehículos que consumen diésel (Hilux 2,5 DOHC Pick Up Doble Cabina 4P. 4x2 T/M Motor Diesel año 2008; Hilux 2,5 DOHC Pick Up Cabina Simple 2P. 4x4 T/M Motor Diesel año 2008; Hilux 3,0 DOHC Turbo Pick Up Cabina Doble 4P. 4x4 T/M Motor Diesel años 2009, 2010 y 2011) y el 17% restante utiliza gasolina (4Runner 4,0 DOHC Wagon 5P. 4x4 T/A Motor Otto años 2010 y 2011). Una descripción más exacta de los vehículos es difícil de realizar ya que la flota se está renovando constantemente por las restricciones de kilometraje y antigüedad de los vehículos.

### **6.9.2.2 Otros Equipos**

Para comprender el potencial de los equipos de la compañía que consumen petróleo diésel, y que no son equipos livianos, se debe visualizar el consumo total de CMDIC, para esto se presentan gráficos que muestran el consumo total y el porcentaje que representan los vehículos livianos en dicho consumo:

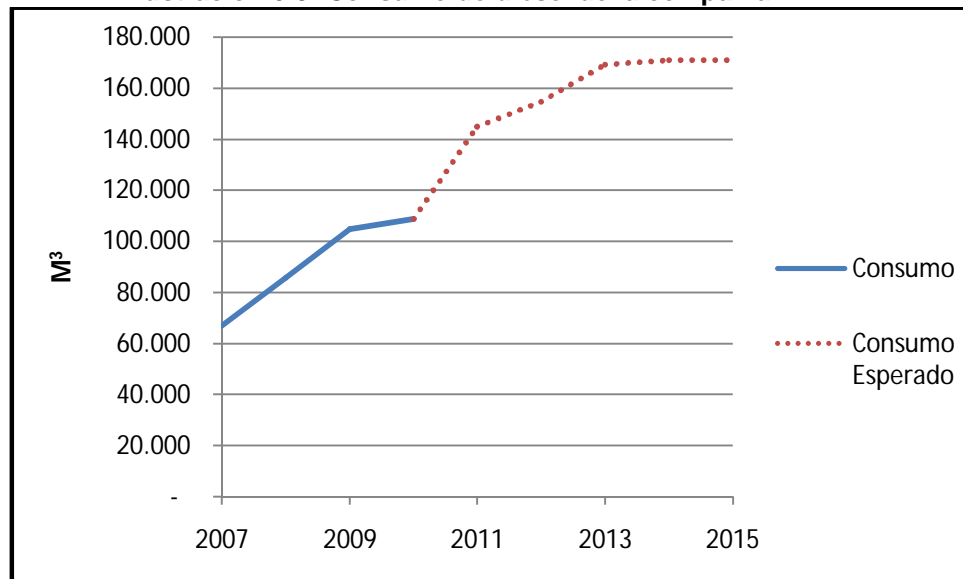
**Tabla 6-12: Consumo de diésel de la Compañía (M<sup>3</sup>)**

Año	Consumo
2007	67.053
2008	85.643
2009	104.683
2010	108.836
2011*	144.925
2012*	154.701
2013*	169.094
2014*	170.830
2015*	170.830

\*: Consumo esperado

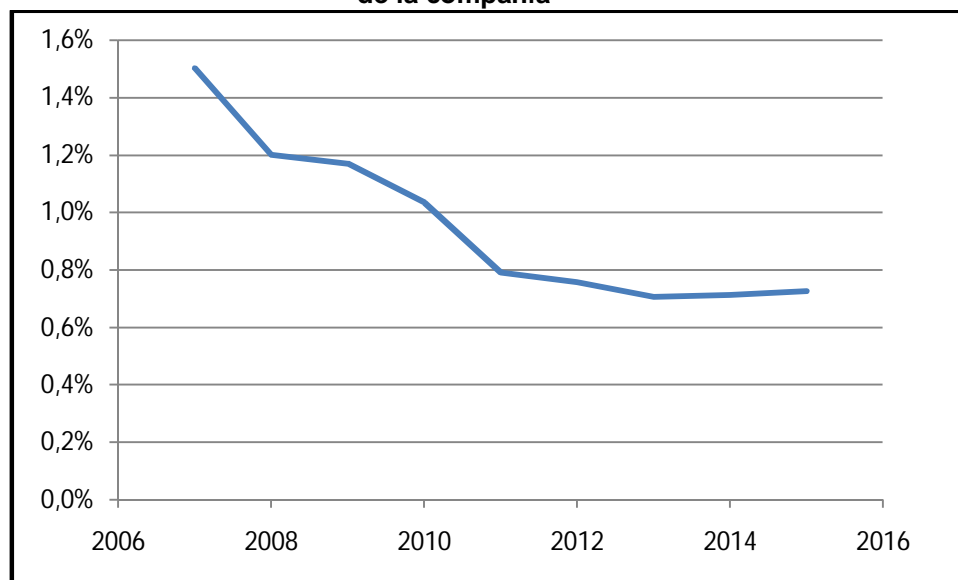
**Fuente: Collahuasi.**

**Ilustración 6-9: Consumo de diésel de la compañía.**



**Fuente: Collahuasi.**

**Ilustración 6-10: utilización de combustible de vehículos livianos comparado con el consumo total de la compañía**



Fuente: Collahuasi.

Por otro lado se debe contextualizar los equipos que consumen este combustible, utilizando para esto el sistema de control de consumo de combustible de CMDIC, el que muestra el consumo de cada uno de los equipos de la compañía. Al tratar de identificarlos se puede ver que la cantidad de equipos que consumen diésel y que no son vehículos livianos son equipos tan variados como camiones on-road, generadores, perforadoras, cargadores frontales, grúas hidráulicas, camiones de extracción, luminarias de terreno, retroexcavadoras, entre otros; siendo muchos de estos equipos base para la producción de la compañía.

Al analizar las cantidades de diésel y el porcentaje de participación de los vehículos livianos, es fácil determinar que existe un potencial mayor en el resto de los equipos, sin embargo, al ser equipos de mayor criticidad en caso de falla, la introducción de biodiésel a estas flotas debe ser completamente controlada minimizando el riesgo de que el cambio de tecnología tenga un efecto inesperado en el sistema productivo. Es por esto que, inicialmente, se busca comprobar el funcionamiento en vehículos livianos, pudiéndose evaluar en pasos posteriores el uso en el resto de los equipos y plantas de la compañía.

### **6.9.2.3 Consumo de Biodiésel**

Habiéndose caracterizado ambos subgrupos, se mostrará a continuación la demanda potencial de cada subgrupo.

Para hacer un estimativo del consumo de biodiésel basado en los datos con que se cuenta en la actualidad, se estima una disminución del rendimiento de los vehículos que utilizan el biocombustible de un 0,5%, siendo este un caso pesimista según las estimaciones realizadas por la EPA.

**Tabla 6-13: Consumo potencial de biodiésel de Collahuasi**

Año	Vehículos Livianos				Total Compañía			
	Consumo	Equivalente Biodiésel	95% Diésel	5% Biodiésel	Consumo	Equivalente Biodiésel	95% Diésel	5% Biodiésel
2007	1,007	1,012	962	51	67,053	67,390	64,021	3,370
2008	1,029	1,034	982	52	85,643	86,074	81,770	4,304
2009	1,225	1,231	1,170	62	104,683	105,209	99,948	5,260
2010	1,124	1,130	1,074	57	108,836	109,383	103,913	5,469
2011*	1,147	1,153	1,095	58	144,925	145,653	138,371	7,283
2012*	1,170	1,176	1,117	59	154,701	155,478	147,704	7,774
2013*	1,193	1,199	1,139	60	169,094	169,944	161,447	8,497
2014*	1,217	1,223	1,162	61	170,830	171,688	163,104	8,584
2015*	1,241	1,248	1,185	62	170,830	171,688	163,104	8,584

\*: Consumo esperado

Fuente: Elaboración propia con datos de Collahuasi.

## 6.10 Aceptación del uso de biodiésel por los fabricantes

### 6.10.1 Vehículos Livianos

La actual política internacional de países como la Unión Europea, Estados Unidos, Argentina, Brasil, etc.; muestra la necesidad de diversificar su matriz energética y la necesidad de introducir el uso de biodiésel en distintas concentraciones según el requerimiento del país.

Los fabricantes de vehículos livianos también se enfrentan a la necesidad de adaptar sus vehículos para hacerlos compatibles con este combustible. Es así que algunos fabricantes como: Audi, BMW, Chrysler, Citroën, Dodge, Ford, GMC, Isuzu, Mercedes Benz, Toyota, Volkswagen, Volvo, entre otros; aceptan el uso de, al menos, un biodiésel B5<sup>8</sup>.

Muchos de los fabricantes afirman que sus vehículos pueden utilizar concentraciones mayores, pero que con el porcentaje que recomiendan los vehículos tienen asegurado su funcionamiento, exigiendo el uso de biodiésel que cumpla la normativa vigente (“Volkswagen, 2010”; “Toyota”, “Fiat”; “PSA Peugeot Citroën”; “Alfa Romeo”; “Volvo”).

---

<sup>8</sup> La aceptación de uso de biodiésel por parte de los fabricantes es referida a países con alto consumo de este combustible, en Chile no existe actualmente ninguna marca que acepte este combustible ni un comercio de biodiésel establecido.

## 6.10.2 Vehículos de uso Minero

Las dos principales empresas proveedoras de equipos para la minería, Caterpillar Inc. y Komatsu Ltd., aceptan el uso de biodiésel en sus motores.

Caterpillar, en la exposición y conferencia de biodiésel de Estados Unidos en el año 2008, acepta un combustible con una concentración de hasta un 30% de biodiésel (B30) del volumen total. CAT declara que el biodiésel debe cumplir con las normas ASTM D6751 o EN14214, siendo estas las normativas estadounidense y europea para el biodiésel, donde se especifica que cualquier falla ocurrida por el uso de este combustible no será cubierto por la garantía. (Abi-Akara, 2008). El uso de biodiésel se acepta para motores de la serie C175, 3500 y el motor C32, cubriendo así todos los motores de camiones mineros que se venden actualmente.

Komatsu por su parte acepta mezclas de hasta un 20% de biodiésel de concentración de volumen para todos sus motores. Komatsu recomienda usar biodiésel de alta calidad, que cumpla o sobrepase los requerimientos realizados por las normas ASTM D6751 y EN 14214. Esta empresa, al igual que Caterpillar, especifica que la garantía no cubre ninguna falla que ocurra como consecuencia del uso de biodiésel (Komatsu, 2008).

## 6.11 La Huella de Carbono del Biodiésel

En el capítulo anterior, que trata sobre la Huella de Carbono, se describe la metodología de medición de las emisiones de GEI por parte de la quema de diésel al utilizarse como combustible para la flota de vehículos livianos.

Al incorporar el biodiésel a la cuantificación del inventario de los GEI para la Huella de Carbono se procesa al CO<sub>2</sub> por separado de los otros gases.

Para abordar los factores de emisión de CO<sub>2</sub> para el biodiésel, se debe considerar que la emisión en este caso proviene de la combustión de carbono biogénico<sup>9</sup> de este combustible, por lo que se debe declarar por separado, como elemento informativo, pero no contabilizándose para la medición de la Huella de Carbono en sí.

A pesar que las emisiones de CO<sub>2</sub> no se contabilizan para la Huella de Carbono, la quema de biocombustibles en las fuentes móviles, generan emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O que se deben contabilizar para el inventario de GEI y darse a conocer en los resultados de la medición de la Huella de Carbono.

---

<sup>9</sup> El carbono biogénico es aquel que fue producido por la acción de un organismo vivo. En este caso por el crecimiento de la planta, que absorbe el CO<sub>2</sub> del ambiente y que se emite cuando se quema como combustible.



Para el cálculo del CO<sub>2</sub>, utilizando las mismas decisiones tomadas para el diésel, se utiliza un factor de emisión de 2,4990 Kg/L para el biodiésel puro.

Siguiendo la misma metodología que con el CO<sub>2</sub>, las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O quedan con factores de emisión de 0,00014 y 0,00016 kg/L respectivamente.

La única variable que no contempla estas estimaciones son las diferencias en el rendimiento que pudiese haber al cambiar el combustible, por lo que se realizará un experimento piloto que permita determinar este valor.

## **CAPITULO 7. ANÁLISIS DE LOS ANTECEDENTES INICIALES**

Una vez presentados los principales antecedentes es importante comprender como afectan a la presente memoria.

### **7.1 Interacción entre los distintos factores**

Lo primero a notar es que, según la metodología utilizada por CMDIC para la medición de la Huella de Carbono, se puede estimar preliminarmente como afectaría a la compañía el utilizar este combustible, aunque no considera el efecto en el rendimiento que se produce por el cambio en sí.

Para tener una visión más certera del impacto que tendría para la compañía, y en especial para el inventario de GEI, se necesita medir el impacto en el rendimiento (trabajo que se realiza y se muestra metodología y resultados en capítulos posteriores). Realizar un análisis completo permite evaluar el cambio de tecnología con un mayor conocimiento de las reacciones reales que se tendrán, obteniendo así resultados más precisos en la evaluación.

También es importante mostrar los costos/beneficios que tendría el uso de este combustible, por lo que se realiza un análisis FODA del uso de biodiésel B5 en CMDIC a continuación.

### **7.2 Análisis FODA del uso de biodiésel en CMDIC**

Este análisis FODA tiene el objetivo de señalar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del uso de biodiésel en la flota de vehículos livianos de CMDIC.

#### **7.2.1 Fortalezas**

La gran fortaleza del uso de este biocombustible es la capacidad de mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>e inventariadas en la Huella de Carbono bajo el concepto de quema de combustibles por parte de equipos móviles.

La capacidad mitigatoria junto con el hecho de que no depende del volátil precio de los combustibles derivados del petróleo a nivel internacional, sino que depende del precio de venta de los aceites, utilizados como materia prima, y que pueden ser de origen nacional, permiten apreciar al uso de biodiésel como una interesante alternativa a los combustibles derivados del petróleo que se comercializan actualmente.

Al comparar el uso de biodiésel con el uso de otros posibles combustibles, se presenta la clara ventaja que el biocombustible estudiado puede funcionar perfectamente en vehículos con motores diésel, los que se han comercializado por varias décadas en el mercado, evitando así tener que adquirir flotas de vehículos distintos, con tecnologías menos probadas, y por ende, con costos de mantenimiento superiores a los que la industria automotriz puede entregar hoy para los vehículos en

circulación. Esta fortaleza viene dada porque existe el personal capacitado para mantener dichos vehículos, cosa que inicialmente pasaría con otras tecnologías, donde se tendría que capacitar mano de obra local o importar mano de obra capacitada, teniendo siempre en cuenta que este no es el negocio de la compañía.

### **7.2.2 Oportunidades**

Al crear una industria que comercialice biodiésel (a nivel local o nacional), se abren las puertas para establecer una legislación más robusta, que prevea el uso de este biocombustible a nivel industrial, y que no lo presente como un combustible a utilizar sólo para pruebas o ensayos, sin permitir el uso de concentraciones considerables de este combustible (B10, B20, B50, B100) a nivel industrial.

También existe la capacidad de implementar sistemas de fabricación a nivel industrial en Chile, donde se podría mitigar el impacto de las variaciones de los precios internacionales del petróleo. Esto permitiría a su vez la creación de puestos de trabajo y el uso de suelos, actualmente sin uso, sin afectar a las áreas de alimentación ni otros productos comercializados.

Dentro de las ventajas ecológicas que presenta el uso del biodiésel se contabiliza el hecho que es biodegradable, por lo que un derrame de este combustible en estado puro (B100) tiene un impacto medioambiental significativamente muy por debajo que el mismo accidente con cualquier derivado del petróleo. A esto se le suma que en el caso de que el derrame sea de una mezcla de ambos combustibles, el efecto será proporcional al porcentaje de concentración del biodiésel en el combustible.

El actual uso de este biocombustible es una apuesta hacia una posible legislación (tal como la que rige a países como Brasil, Argentina, Francia y el estado de Minnesota en Estados Unidos), donde se exige un mínimo de biodiésel en cualquier venta de diésel; sin que tenga que estar necesariamente informado. Dentro de esta ventaja esta, además, el haber actuado proactivamente ante una posible legislación como la mencionada, en Chile, permitiendo conocer cómo afectaría a los equipos y teniendo la experiencia de distintos usuarios que comenten como afecta el uso de biodiésel a sus respectivos vehículos, permitiendo adentrarse en la cultura de la compañía sin tener que ser impuesta.

Finalmente está la oportunidad de importar biocombustibles, aunque para poder ganar poder como consumidor sería necesario asociarse con otros entes privados y/o públicos, que permita la importación de volúmenes mayores de biocombustible.

### **7.2.3 Debilidades**

La gran debilidad del uso actual de biodiésel B5 es su elevado precio en comparación con el diésel tradicional (diferencia superior al 10%), medida que podría ser mitigada, además de que el uso de este combustible en concentraciones superiores al 20% podrían implicar hacer cambios menores en algunas partes del motor, específicamente en el uso de algunos elementos que este biocombustible corroe, por lo

que deben ser sustituidos por polímeros que resistan esta condición, aunque algunos estudios proponen que este combustible mejoraría la mantenibilidad y vida útil de los motores.

También está el hecho que Chile no tiene, con las tecnologías actuales, la capacidad de producir competitivamente el suficiente biodiésel para satisfacer el 5% de la actual demanda nacional de diésel. Esto podría ser una oportunidad según los resultados de las investigaciones que se realizan para producir biodiésel de segunda generación.

Finalmente se destaca que este combustible es biodegradable, lo que ambientalmente es positivo, pero implica que no se puede almacenar por demasiado tiempo, lo que supondría tener un mejor manejo de inventario de este tipo de combustibles y que no permitiría almacenarlo por periodos prolongados de tiempo.

#### **7.2.4 Amenazas**

La mayor amenaza que tiene el uso del biodiésel en la actualidad es que el desarrollo de una industria dedicada a la comercialización de este biocombustible, está condicionada en Chile, al avance en las tecnologías de procesamiento de materias primas, donde las nuevas fuentes de productos que se ocupen para la manufacturación de biodiésel tienen periodos de investigación que darían sus primeros frutos en el año 2015, pudiendo empezar recién ahí la masificación nacional del biodiésel. La incertidumbre del avance en tecnologías de equipos móviles en dicho periodo, podría desincentivar la inversión, provocando que se prefiera el mercado automotriz enfocado en otro tipo de vehículos (eléctricos o cualquier otra tecnología que aparezca en ese periodo de tiempo) antes que el desarrollo de biodiésel llegue a un nivel industrial.

Por otro lado, se tiene el riesgo de que si comenzase en el corto plazo una demanda constante por biodiésel, el mercado se sobresature y aumente el precio, dejando de ser una opción económicamente atractiva para su uso en la compañía.

#### **7.2.5 Conclusiones**

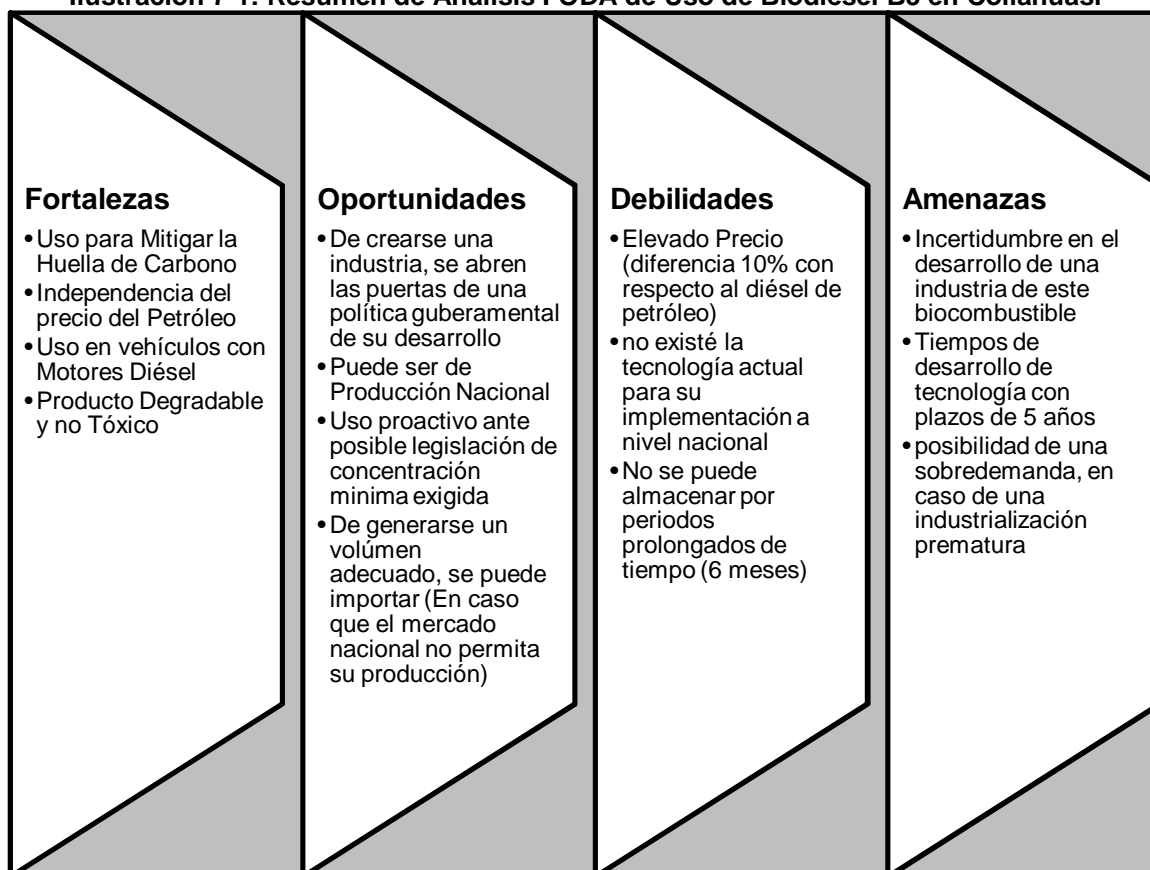
Se observa que, en la actualidad, existe un intenso interés en el desarrollo de energías limpias y renovables, donde el biodiésel no es la excepción. Sin embargo el estado actual del desarrollo de tecnologías de producción de este biocombustible no permiten que sea económicamente competitivo, aunque su superioridad en una evaluación ambiental es absoluta, es por esto que para el uso actual de este combustible se debe evaluar si los beneficios ambientales que presenta compensa el mayor costo del mismo.

Dentro de los factores en contra del uso de biodiésel es la imposibilidad de crear una industria nacional competitiva en el corto plazo, esto debido a la incompatibilidad entre las materias primas actuales y las tecnologías de producción existentes actualmente, aunque se espera que esto se compense con investigación, desarrollo e

innovación de nuevas tecnologías de producción basados en materias primas competitivas en Chile.

Es por esto que al evaluar las ventajas y desventajas del uso de biodiésel en la faena minera, se debe considerar que el mercado aún no ha madurado lo suficiente como para producir competitivamente este combustible, y un ingreso prematuro del biodiésel podría crear un efecto contraproducente para su industrialización. Bajo esta perspectiva, se recomienda su uso asociado a una política empresarial que permita su inserción en el mercado nacional de modo que no perjudique la producción futura, importando inicialmente el biocombustible, para poder tener precios más competitivos, mientras se espera que el mercado chileno permita la producción del combustible de una manera sostenible y responsable.

**Ilustración 7-1: Resumen de Análisis FODA de Uso de Biodiésel B5 en Collahuasi**



Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO 8. PRUEBA EXPERIMENTAL EN CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN**

Tal como se comenta en el capítulo anterior, con la metodología provista por el GHG Protocol, en conjunto con la IPCC y mediante el ECCR, se puede cuantificar el impacto en la Huella de Carbono producido por utilizar biodiésel, sin embargo no se considera el impacto en el rendimiento. Al analizar la evidencia empírica entregada por distintos estudios de uso de biodiésel se aprecia que, en general, existe una disminución en rendimiento del vehículo. Esta disminución en el rendimiento es contraproducente para la medición del inventario de GEI, esto porque se cuantifica a través del consumo de combustible, y una disminución en el rendimiento implica un aumento en el consumo de éste.

Para medir el rendimiento de la flota se realizará una prueba piloto que permita determinar la diferencia que se produce al alimentar a los vehículos con diésel o biodiésel, para evitar que la diferencia de uso, debido a las distintas funciones operacionales que tiene cada vehículo, afecte los resultados; la prueba se dividirá en dos periodos, en el primero se medirán las variables mientras los vehículos utilizan diésel de petróleo, y en el segundo se revisarán las variables sobre los mismos vehículos, pero utilizando biodiésel B5.

Además, se aprovechará la ocasión para realizar un control de opacidad de los vehículos para detectar algún problema con la legislación que regula las emisiones a nivel nacional.

Las emisiones para vehículos con motor diésel son legisladas en el D.S. N°4/1994 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, que decreta que para el control bajo la modalidad de aceleración libre la máxima opacidad del humo permitida es de 2,5 m<sup>-1</sup>.

### **8.1 Variables y Parámetros**

La principal variable a medir es el rendimiento, esta variable se compone, en esencia, por la distancia recorrida y el combustible consumido por cada vehículo, sin embargo existen variables exógenas que pueden afectar la medición del rendimiento. Los principales factores que pueden afectar las mediciones son la altura geográfica y el estilo de conducción de los usuarios, es por esto que se buscará la manera de parametrizarlas, evitando que afecte la medición del rendimiento.

Además del rendimiento, se medirá opacidad de los gases emitidos por los vehículos, esto porque esa es la manera que define la ley mediante el Decreto N°4 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones donde se fija el procedimiento de control de emisiones de contaminantes aplicable a vehículos motorizados.

## **8.2 Protocolo de medición de variable**

Para determinar cuánto combustible se consume, se pedirá a los usuarios que anoten en una bitácora los siguientes datos, cada vez que carguen combustible:

- Fecha y hora de carga.
- Tipo de combustible cargado (diésel normal/biodiésel).
- Kilometraje que marca el odómetro.
- Cantidad de combustible cargado.

Con esta información se podrá diferenciar el consumo con biodiésel y el consumo con diésel de petróleo.

Con respecto al control de emisiones, que verificará que se siga cumpliendo la legislación al utilizar el nuevo combustible, se realizarán sesiones de chequeo semanal para la revisión de los vehículos, buscando que, al menos se controle dos veces cada vehículo con cada combustible.

## **8.3 Diseño de la Prueba Piloto**

### **8.3.1 Parámetros**

Al diseñar la prueba, lo primero que se debe realizar es parametrizar las variables que podrían crear un sesgo en las mediciones, invalidando así la medición de las variables que se busca determinar.

La primera variable exógena es la altura geográfica. Como se explica en el CAPITULO 4. las faenas de CMDIC se encuentran a nivel del mar, en Puerto Patache, y a 4800 msnm en Rosario. Al aumentar la altura disminuye la concentración de oxígeno en el aire, lo que empobrece el oxígeno que entra a la mezcla que utilizan los motores de combustión interna, siendo la razón de que disminuya el rendimiento a mayor altura. Para el caso de la prueba piloto asociada a esta memoria, se decide realizar la prueba a nivel del mar, por tratarse de un ambiente de prueba más idóneo, con una baja oscilación térmica diaria y una temperatura promedio cercana a los 20°C. La utilización de este combustible en las condiciones existentes en faena Cordillera se toma como una opción a evaluar como un paso posterior a la entrega de resultados de esta memoria.

La segunda variable exógena que afecta al rendimiento es el conductor del vehículo, ya que distintas personas tienen distintos patrones de conducción, los que implican un mayor o menor consumo. Para fijar este parámetro se determina utilizar ciertas camionetas que aseguren una baja rotación entre los usuarios, además de dividir el periodo de prueba en dos partes, ocupándose un tipo de combustible distinto en cada periodo, permitiendo así determinar los parámetros para cada uno de los usuarios con cada uno de los combustibles a utilizar.

### 8.3.2 Periodo de Prueba

El periodo de la prueba, de 10 semanas, se divide en dos etapas, siendo la primera de 4 semanas y la segunda de 6.

Durante el primer periodo los vehículos utilizaron diésel de petróleo, creando la base comparativa desde donde se busca definir el impacto en el rendimiento del uso de biodiésel.

En el segundo periodo los vehículos utilizaron biodiésel<sup>10</sup>, siendo esta la etapa que muestra el impacto buscado.

Se decide utilizar este periodo de tiempo, ya que es el equilibrio entre el plazo total disponible que propone la compañía para finiquitar la prueba y el periodo de estudio de la presente memoria.

### 8.3.3 Flota a utilizar

Para la prueba se ocupa la máxima cantidad de vehículos posible, buscando que su uso permita observar el funcionamiento de al menos un ejemplar de cada modelo que utiliza la compañía.

Se identifican 6 vehículos pertenecientes a 3 áreas distintas de la compañía, contado con al menos con un tipo de cada uno de los vehículos que utiliza la compañía. A continuación se muestra la flota a utilizar:

**Tabla 8-1: Flota a utilizar en la prueba piloto**

Identificación	Marca	Modelo	Año	Cilindrada del Motor
VHOP01	Toyota	Hilux	2011	2.500 cm <sup>3</sup>
VHOP02	Toyota	Hilux	2011	3.000 cm <sup>3</sup>
VHOP04	Toyota	Hilux	2008	2.500 cm <sup>3</sup>
VHPY01	Toyota	Hilux	2011	3.000 cm <sup>3</sup>
VHPY02	Toyota	Hilux	2010	3.000 cm <sup>3</sup>
VHCC01	Toyota	Hilux	2009	3.000 cm <sup>3</sup>

**Fuente: Elaboración propia con datos de Collahuasi.**

La selección de estos vehículos se debe a 3 factores: el primero es buscar al menos uno de cada uno de los vehículos que utiliza la compañía, el segundo es la factibilidad de participación de los vehículos en la prueba y el último es el consumo de combustible de estos vehículos; este último factor busca que los vehículos de la prueba tengan un consumo tal que permita realizar un análisis posterior.

---

<sup>10</sup> Ver CAPITULO 11. Anexo F. Reportaje sobre la primera carga de biodiésel de la prueba



### 8.3.4 Combustible a utilizar

Para el combustible se contó con la colaboración de la empresa COPEC, quienes facilitaron el combustible para la prueba, desde la planta piloto que poseen en la localidad de Gorbea, Región de la Araucanía.

Dado que la legislación chilena no permite una concentración superior al 5% de biodiésel en la mezcla de diésel/biodiésel se utiliza esta mezcla. A continuación se muestran algunos resultados de laboratorio que se obtuvo para este biocombustible<sup>11</sup>, además de mostrar su comparación con el diésel tradicional y con el biodiésel puro.

**Tabla 8-2: Resultados de análisis para muestras de biodiésel**

	<b>Petróleo Diésel</b>	<b>Biodiésel (100%)</b>	<b>Biodiésel (5%)</b>
<b>Color ASTM</b>	0.5	-	1.5
<b>Densidad 15°C (Kg/m3)</b>	36.8	29.7	36.4
<b>C. destilación (°C)</b>			
<b>90%</b>	332.8	-	443.6
<b>Punto de Inflamación (°C)</b>	60.5	>100	63.5
<b>Corrosión lámina de Cu</b>	1	1	1
<b>Índice de Cetano</b>	51.6	-	51.7
<b>Carbón residual (%MCRT)</b>	0.01	0.01	0.05
<b>% cenizas</b>	0.001	-	0.002
<b>Viscosidad Cinemática a 40°C (cst)</b>	2.813	4.651	2.868
<b>Punto de Ecurrimiento (°C)</b>	-21	-15	-21
<b>C.F.P.P. (°C)</b>	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Metales (ppm)</b>			
<b>Na + K</b>	-	15	-
<b>Ca</b>	-	98	-
<b>Lubricidad (UM)</b>	292	-	212

Fuente: COPEC

### 8.3.5 Análisis de error preliminar

Dado que se quieren medir variaciones en el rendimiento del 0,2% al 0,5%, es importante analizar cuál es el nivel de error esperado de la prueba.

Para esto se analizan los errores de cada una de las variables por separado: distancia recorrida y combustible utilizado. Finalmente se utiliza propagación de errores para saber si el error muestral permite observar este tipo de errores.

---

<sup>11</sup>Para ver la hoja de seguridad ver CAPITULO 11. Anexo G. Hoja de Seguridad del Biodiésel.

Para calcular el error se debe hacer ciertas suposiciones, estas son la distancia total recorrida y el consumo total de combustible. Para este estudio, dado el historial de combustible utilizado se estima que se consumirán cerca de 5.000 litros<sup>12</sup> de combustible en el periodo de 10 semanas estipulado, por lo que se utilizará esta cantidad de combustible como el utilizado. Por otro lado se determina que las camionetas tienen un rendimiento promedio, dado por el fabricante, de 10 km/L, se asumirá para el análisis de error que recorrerán una distancia de 50.000 km.

### 8.3.5.1 Distancia recorrida.

Para la medición de la distancia recorrida se utiliza el odómetro de los vehículos, debido a que este instrumento entrega diferencias máximas de 1 km, por esto se toma el error dado por la medición inicial y por la medición final del kilometraje, la que nos dará un error total de 0,5 km por medición, o lo que es equivalente un error de 1 km por vehículo. Si se considera que se espera un recorrido total de 50.000 km entre 8 vehículos, el error asociado es de 8 km, por lo que el recorrido se expresara como 50.000 km ± 8 km.

### 8.3.5.2 Combustible utilizado

Para el control de la cantidad de combustible cargado, se utilizan las bombas de las estaciones de servicio de la compañía, estas miden el combustible entregado con una precisión de 0,01 L, por lo que el error de cada medición es de 0,005 L.

Se estima que cada usuario carga combustible cada vez que al estanque le queda, aproximadamente, la mitad del combustible, cada estanque tiene una capacidad de 70 litros, por lo que se cargaría combustible cada 35 litros.

Considerando que se espera consumir 5.000 litros de combustible, esto sería el equivalente a 143 cargas, teniendo cada una de estas un error de 0,005 litros, por lo que el rango de error del total consumido es de 0,715 litros. O sea, el consumo esperado se puede expresar como 5.000 L ± 0,72 L.

### 8.3.5.3 Rendimiento esperado

Dado los valores obtenidos con anterioridad se tiene que el rendimiento esperado se compone de la siguiente forma:

$$Rendimiento = \frac{Distancia\ Recorrida}{Combustible\ Utilizado} = \frac{50.000km \pm 8km}{5.000L \pm 0,72L} = 10\ km/L \pm \frac{8km}{0,72L}$$

Ahora utilizando propagación de error se tiene que:

---

<sup>12</sup>Ver CAPITULO 11. Anexo D. Consumo histórico de los vehículos de la prueba.

$$\frac{\delta_{rendimiento}}{|\text{rendimiento}|} = \frac{\delta_{\text{distancia recorrida}}}{|\text{distancia recorrida}|} + \frac{\delta_{\text{combustible utilizado}}}{|\text{combustible utilizado}|}$$

Donde:

$$\begin{aligned} |\text{rendimiento}| &= 10 \text{ km/L} \\ |\text{distancia recorrida}| &= 50.000 \text{ km} \\ |\text{combustible utilizado}| &= 5.000 \text{ L} \\ \delta_{\text{distancia recorrida}} &= 8 \text{ km} \\ \delta_{\text{combustible utilizado}} &= 0,72 \text{ L} \end{aligned}$$

Dado esto nos queda:

$$\delta_{rendimiento} = |\text{rendimiento}| \times \left( \frac{\delta_{\text{distancia recorrida}}}{|\text{distancia recorrida}|} + \frac{\delta_{\text{combustible utilizado}}}{|\text{combustible utilizado}|} \right)$$

Por lo que el error del rendimiento es de:

$$\delta_{rendimiento} = 10 \times \left( \frac{8}{50.000} + \frac{0,72}{5.000} \right) = 0,003$$

Por lo que podemos expresar al consumo esperado como 10 km/L  $\pm$  0,003 km/L.

Para esta prueba se esperan variaciones en el rendimiento cercanas al 0,1%, equivalentes a diferencias de 0,01 km/L, una orden de magnitud mayor al error esperado, por lo que este no afecta la identificación de las variaciones en el consumo.

## 8.4 Resultados del Piloto

### 8.4.1 Opacidad del humo

Según el D.S. N° 4 /1994 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones indica que para los vehículos livianos o medianos afectos al cumplimiento de la norma de emisión establecida en el D.S. N° 211/1991 o D.S. N° 54 de 1994, ambos del mismo ministerio, el límite en la opacidad en un ensayo de aceleración libre es de 2,5 m-1.

A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos durante la prueba:

**Tabla 8-3: Resultados de mediciones de opacidad del humo en m-1**

VEHÍCULO	Combustible	
	Diesel	Biodiesel
VHOP04	1.027	0.702
VHCC01	0.582	0.248
VHOP01	1.200	0.663
VHOP02	0.552	0.460
VHPY02	0.764	0.562

<b>VHPY01</b>	0.721	0.459
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.808</b>	<b>0.516</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla, todos los vehículos cumplen con la normativa al utilizar diésel como combustible, y todos disminuyen las emisiones cuando empiezan a consumir biodiésel, teniéndose en promedio una disminución de un 36% en la opacidad del humo.

#### 8.4.2 Rendimiento

El impacto del uso de biodiésel en la huella de carbono está directamente relacionado a como este combustible afecta el rendimiento de los vehículos. A continuación se muestra una tabla con las distancias recorridas y el consumo de combustible de los vehículos de la prueba.

**Tabla 8-4: Rendimiento de los vehículos según combustible en km/L**

Vehículo	Diésel			Biodiésel		
	Distancia Recorrida (Km)	Combustible Utilizado (L)	Rendimiento (Km/L)	Distancia Recorrida (Km)	Combustible Utilizado (L)	Rendimiento (Km/L)
<b>VHCC01</b>	3.302	332,810	9,922	3.600	369,101	9,753
<b>VHOP01</b>	3.424	301,020	11,375	4.255	377,940	11,258
<b>VHPY02</b>	2.617	218,201	11,994	1.909	164,706	11,590
<b>VHPY01</b>	5.655	565,564	9,999	3.807	387,674	9,820
<b>Total</b>	<b>14.998</b>	<b>1.417,595</b>	<b>10,580</b>	<b>13.571</b>	<b>1.299,421</b>	<b>10,444</b>

Fuente: Elaboración propia

De los resultados se puede apreciar que existe una disminución de un 1,29% en el rendimiento promedio de la flota utilizada para la prueba.

## CAPITULO 9. EVALUACIONES

### 9.1 Impacto en la Huella de Carbono

#### 9.1.1 Situación base, uso de diésel

Primero se calcula las emisiones emitidas por los consumos estimados y que son mostrados en el CAPITULO 6. Para esto se utilizarán los factores de emisión y potenciales de calentamiento global presentados en el CAPITULO 5.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 9-1: Inventario de GEI por consumo de diésel en Kg**

<b>Año</b>	<b>Consumo Esperado</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2</sub>e</b>
<b>2011</b>	1.146.949	3.069.810	161	161	3.122.959
<b>2012</b>	1.169.888	3.131.206	164	164	3.185.418
<b>2013</b>	1.193.286	3.193.830	167	167	3.249.127
<b>2014</b>	1.217.152	3.257.706	170	170	3.314.109
<b>2015</b>	1.241.495	3.322.861	174	174	3.380.391
<b>TOTAL</b>	<b>5.968.770</b>	<b>15.975.412</b>	<b>836</b>	<b>836</b>	<b>16.252.005</b>

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que el 98% de las emisiones corresponden a emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 9.1.2 Uso de biodiésel

Para poder evaluar la diferencia que se produce en la huella de carbono al usar biodiésel (B5), lo primero que se debe hacer es analizar las diferencias de la metodología al realizar el inventario de GEI, de la quema por parte de vehículos, del biodiésel y el diésel de petróleo.

Primero, el CO<sub>2</sub> producido por la quema de biocombustibles no afecta el inventario de GEI, aunque se debe presentar por separado.

Segundo, al usar biodiésel los factores de emisión se ven afectados. El factor de emisión utilizado para el dióxido de carbono se obtiene de la información entregada en la herramienta de medición para combustión móvil del GHG Protocol (GHG Protocol, 2008), siendo este valor de 2,499 kg CO<sub>2</sub>/L al utilizar biodiésel B100. Para las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> se utiliza la variación porcentual propuesta por la EPA en Estados Unidos para el biodiésel B5, aumentando el N<sub>2</sub>O en un 0,49% y disminuyendo el CH<sub>4</sub> en un 3,48%; quedando en 0,001407 Kg/L y 0,001351 Kg/L respectivamente.

Utilizando estos valores y el hecho que el rendimiento disminuye en un 1,29% con respecto al uso del diésel nos quedan los siguientes resultados:

**Tabla 9-2: Inventario de GEI por consumo de biodiésel en Kg**

<b>Año</b>	<b>Consumo Esperado</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>CO<sub>2</sub>e</b>	<b>CO<sub>2</sub> de biocombustibles</b>
<b>2011</b>	1,161,886	2,954,298	157	163	3,008,268	145,178
<b>2012</b>	1,185,123	3,013,384	160	167	3,068,433	148,081
<b>2013</b>	1,208,826	3,073,651	163	170	3,129,802	151,043
<b>2014</b>	1,233,002	3,135,124	167	173	3,192,398	154,064
<b>2015</b>	1,257,662	3,197,827	170	177	3,256,246	157,145
<b>Total</b>	<b>6,046,500</b>	<b>15,374,283</b>	<b>817</b>	<b>851</b>	<b>15,655,147</b>	<b>755,510</b>

Fuente: Elaboración propia

Al comparar ambos resultados se puede apreciar una disminución del 3,67% con respecto al uso de diésel.

## 9.2 Evaluación Económica

Para presentar la evaluación económica se debe considerar la restricción que tiene la empresa de mostrar los precios de combustible que esta maneja, por lo que se presentaran los resultados diferenciales entre el uso de biodiésel y el uso de diésel por parte de la compañía<sup>13</sup>.

Se presentan 3 casos a evaluar, el primero es el caso actual, donde el biodiésel se produce de manera nacional y de manera exclusiva para la compañía. Este caso tiene los costos del biodiésel más altos.

El segundo caso evalúa el uso de biodiésel importado, el que presenta costos intermedios, aunque el volumen requerido es mayor al caso de uso de biodiésel nacional para que se de la evaluación aquí presentada.

El tercer caso muestra lo que pasaría si el biodiésel se comportara como lo hace en un país con políticas de uso de biodiésel más desarrolladas y que cuenta con apoyo político y económico del gobierno para la comercialización del biodiésel. Este caso es obviamente el más conveniente, pero a su vez es muy improbable que pase en el corto plazo.

Además de los 3 casos presentados para las evaluaciones, se utiliza una correlación entre el precio del biodiésel y el precio del aceite de raps, por lo que se analiza el funcionamiento en el tiempo del aceite de raps. Para la evaluación se asume que el aceite en cuestión se comporta de la manera  $dP = \mu \cdot P \cdot dt + \sigma \cdot P \cdot \varepsilon \sqrt{dt}$  donde:

P: Precio del Aceite de Raps

<sup>13</sup> Para más detalle ver CAPITULO 11. Anexo C. Procedimientos de Cálculos

$\mu$ : Tendencia del Aceite de Raps  
 $t$ : tiempo  
 $\sigma$ : Volatilidad del precio del aceite de Raps  
 $\varepsilon$ : variable aleatoria con distribución  $N(0,1)$

Los parámetros que caracterizan las variaciones en el tiempo del precio del aceite de raps, se calibran utilizando los valores históricos entregados por la ODEPA (ver CAPITULO 11. Anexo H. Precio Histórico del Aceite de Raps). UNIDADES

Para simular el precio del biodiésel a futuro se realiza una simulación de Monte Carlo con los factores entregados para los periodos futuros, realizando 5.000 iteraciones. Se elige esta cantidad de iteraciones por mostrar una diferencia insignificante entre simulación y simulación.

También se utiliza una tasa de retorno de un 12%, siendo esta tasa la que ocupa la empresa para evaluar sus proyectos.

### 9.2.1 Biodiésel nacional

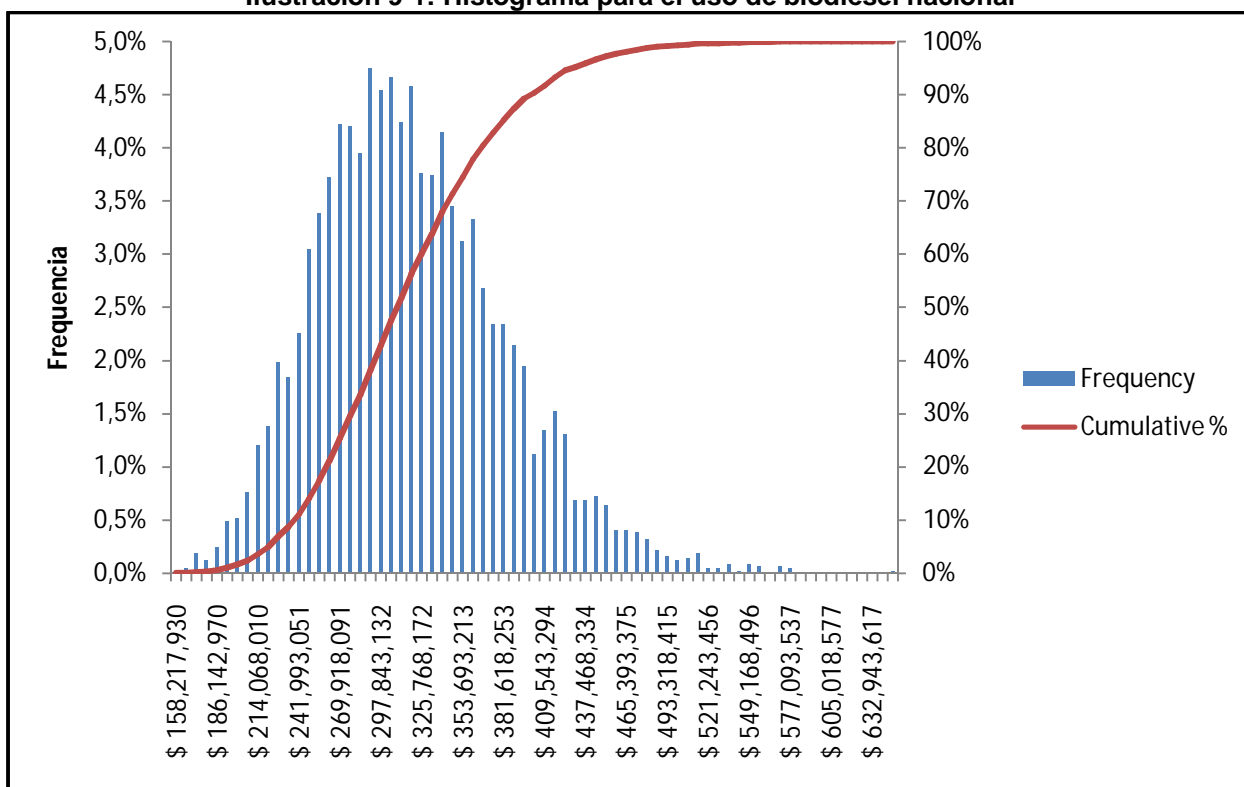
A continuación se muestran los resultados promedios de la evaluación, incluyendo un gráfico con las probabilidades entregadas por la simulación.

**Tabla 9-3: Resultados económicos por el uso de biodiésel nacional**

Año	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Costo Diferencial</b>	\$62,905,491	\$69,567,939	\$79,040,524	\$89,067,370	\$100,347,309
<b>Valor Actual</b>	\$62,905,491	\$62,114,231	\$63,010,622	\$63,396,394	\$63,772,529
<b>VAN</b>	\$315,199,267				

**Fuente: Elaboración propia**

**Ilustración 9-1: Histograma para el uso de biodiésel nacional**



Fuente: Elaboración propia

Al ver los resultados de la simulación, se puede apreciar que, con un 80% de probabilidades el VAN por uso de biodiésel entre los años 2011 y 2015 tiene un costo entre K\$241.993 y K\$395.581.

### 9.2.2 Biodiésel importado

A continuación se muestran los resultados promedios de la evaluación, mostrando también un gráfico con las probabilidades entregadas por la simulación.

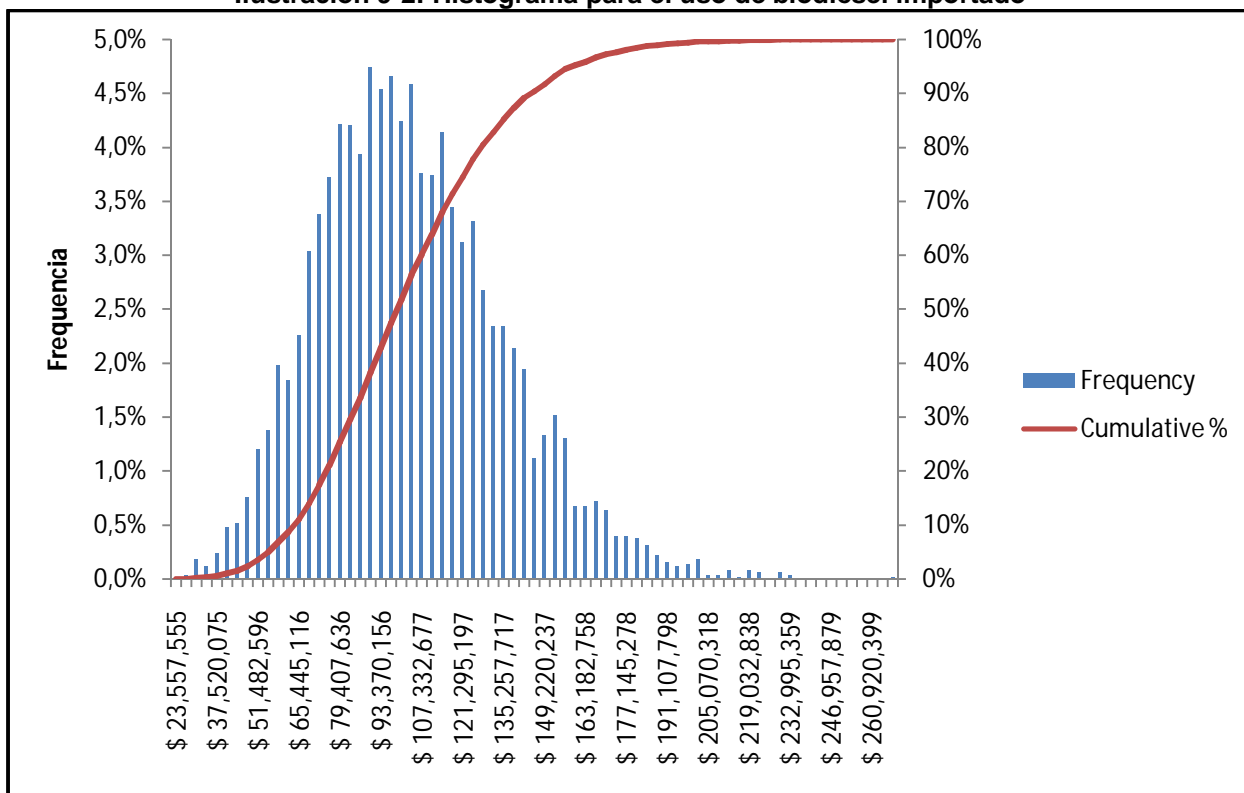
**Tabla 9-4: Resultados económicos por el uso de biodiésel importado**

Año	2011	2012	2013	2014	2015
Costo Diferencial	\$19,123,042	\$21,729,345	\$25,361,931	\$29,744,649	\$34,828,201
Valor Actual	\$19,123,042	\$19,401,201	\$20,218,376	\$21,171,654	\$22,133,951
VAN	\$102,048,224				

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 9-2: Histograma para el uso de biodiésel importado**



Fuente: Elaboración propia

Al ver los resultados de la simulación, se puede apreciar que, con un 80% de probabilidades el VAN por uso de biodiésel entre los años 2011 y 2015, tiene un costo entre K\$65.445 y K\$145.730.

### 9.2.3 Biodiésel competitivo

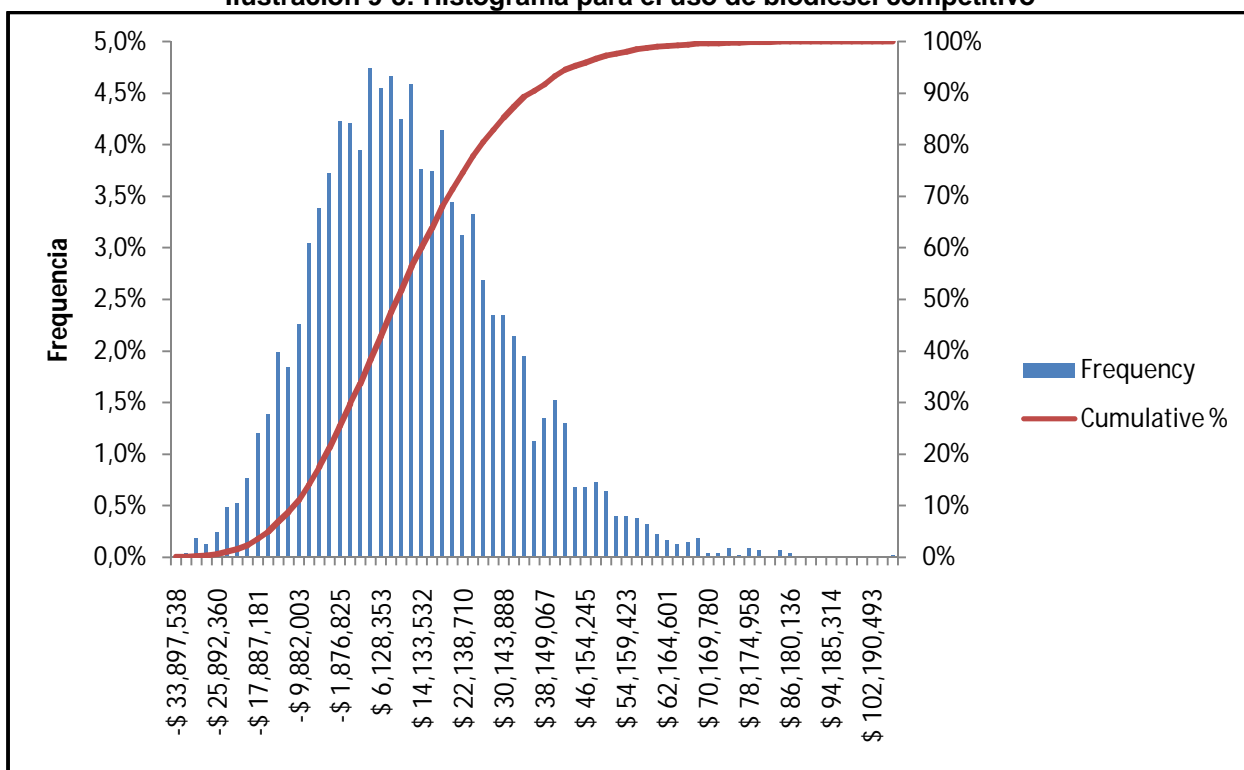
A continuación se muestran los resultados promedios de la evaluación, señalando también un gráfico con las probabilidades entregadas por la simulación.

**Tabla 9-5: Resultados económicos por el uso de biodiésel competitivo**

Año	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Costo Diferencial</b>	\$442,530	\$1,318,212	\$2,459,065	\$4,433,622	\$6,873,381
<b>Valor Actual</b>	\$442,530	\$1,176,975	\$1,960,352	\$3,155,764	\$4,368,158
<b>VAN</b>	\$11,103,779				

Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 9-3: Histograma para el uso de biodiésel competitivo**



Fuente: Elaboración propia

Al ver los resultados de la simulación, se puede apreciar que, con un 80% de probabilidades el VAN, por uso de biodiésel entre los años 2011 y 2015, varía entra una ganancia de K\$9.882 y un costo de K\$36.148.

### 9.3 Costo de mitigar una Tonelada de CO<sub>2</sub>e

A continuación se presenta una tabla que muestra los costos para mitigar una tonelada de CO<sub>2</sub>e según los distintos casos evaluados.

**Tabla 9-6: Costos de mitigar la Huella de Carbono**

Año	Mitigación CO <sub>2</sub> e t CO <sub>2</sub> e	Costo uso Biodiésel (CLP)			Costo uso Biodiésel (CLP/t CO <sub>2</sub> e)		
		Nacional	Importado	Competitivo	Nacional	Importado	Competitivo
2011	115	\$62,905,491	\$19,123,042	\$442,530	\$548,477	\$166,735	\$3,858
2012	117	\$69,567,939	\$21,729,345	\$1,318,212	\$594,674	\$185,745	\$11,268
2013	119	\$79,040,524	\$25,361,931	\$2,459,065	\$662,398	\$212,545	\$20,608
2014	122	\$89,067,370	\$29,744,649	\$4,433,622	\$731,793	\$244,387	\$36,427
2015	124	\$100,347,309	\$34,828,201	\$6,873,381	\$808,304	\$280,544	\$55,366
<b>Total</b>	<b>597</b>	<b>\$400,928,633</b>	<b>\$130,787,168</b>	<b>\$15,526,810</b>	<b>\$671,732</b>	<b>\$219,126</b>	<b>\$26,014</b>

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se aprecia que el costo actual de mitigar la huella de carbono utilizando biodiésel, es demasiado alto comparado con el costo potencial de utilizar bonos de carbono, los que cuestan aproximadamente 8.666 CLP/t CO<sub>2</sub>e<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Precio Spot del EUA 08-12: 13,07 Euro/t CO<sub>2</sub>e; tasa de cambio: 663,08 CLP/Euro; ambos al 07 de julio de 2011

## CAPITULO 10. CONCLUSIONES

Lo primero que se aprecia del estudio realizado, es la confirmación de la facultad mitigatoria de la huella de carbono que tiene el biodiésel, ya que, con el uso de este combustible mezclado con petróleo en una relación 5% biodiésel, 95% diésel (biodiésel B5), se logra una reducción de un 3,67% en el inventario de Gases de Efecto Invernadero producido por la quema de combustibles para el funcionamiento de vehículos livianos.

La reducción total obtenida se estima en un valor cercano a las 600 toneladas de CO<sub>2</sub>e del total que emitirá la compañía entre el 2011 y el 2015, contabilizando únicamente la mitigación de las emisiones correspondientes a la quema de combustible por parte de la flota de vehículos livianos. Si se hace la suposición de que todos los equipos que actualmente se alimentan con diésel se alimentarán con biodiésel B5, y que además, tienen un comportamiento similar al observado en la flota estudiada, se podría apreciar una reducción cercana a las 81.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e en la huella de carbono, considerando el mismo periodo de tiempo.

Aunque los resultados obtenidos son bastante optimistas al analizar los efectos del Inventario de GEI, el costo de utilización de este combustible no justifica el uso de esta tecnología. Se estima que cada tonelada mitigada tendrá un costo promedio superior a los k\$600, mientras que, a modo de referencia se conoce que el mercado formal de bonos de carbono, que opera principalmente en Europa, tiene costos inferiores a k\$10, lo que significa un aumento de un 6000% con respecto a dicho mercado.

El mercado de combustibles líquidos actual no permite tener un precio competitivo del biodiésel, esto se debe a que se utilizan principalmente combustibles derivados del petróleo, teniendo como consecuencia que no exista una industria que permita tener una oferta constante de biodiésel ni usuarios que presenten una demanda lo suficientemente importante como para motivar la evolución del mercado en el corto plazo.

Además, debido al estado actual de la investigación de biodiésel a partir de material lignocelulósico y de micro-macro algas, se espera que el mercado en general no presente variaciones importantes hasta el 2015, año en que estas investigaciones deben empezar a presentar sus frutos y que podrían permitir que dentro de los años 2015-2017 se produzcan los primeros cambios en el mercado de los combustibles líquidos, estos cambios podrían presentar un Chile con un nivel de industrialización del biodiésel sofisticado.

A pesar de lo favorable que se muestra el biodiésel como medida mitigatoria de la huella de carbono, cabe destacar que la experiencia empírica obtenida de la prueba piloto nos muestra una disminución del 1,29% en el rendimiento, lo que en conjunto con la disminución del 4,78% en el impacto que tiene el uso de una unidad de volumen del biodiésel en el Inventario GEI, nos da la disminución real de Inventario observado. Este valor podría mejorar dependiendo de la materia prima que se utilice para fabricar el

biodiésel, ya que al utilizarse ciertas algas se podría tener un combustible con mayor energía contenida por unidad de volumen y que permita mejorar los resultados actuales.

Dado el nivel de investigación y perspectivas futuras, tanto a nivel nacional como internacional, con respecto al avance de nuevas tecnologías de producción y procesamiento de materias primas de biodiésel, incluyendo la fabricación de este último, se espera que las nuevas generaciones de este combustible permitan tener un producto a un menor precio, con niveles de emisión más bajo y que contenga una mayor cantidad de energía contenida por unidad de volumen, lo que finalmente se traducirá en un producto con ventajas competitivas que le permitan competir con los combustibles líquidos derivados del petróleo, los que actualmente dominan este mercado.

## **10.1 Recomendaciones**

El uso de biodiésel tal como se plantea en este proyecto, tiene el inconveniente de tener un costo económico demasiado alto, existiendo dos maneras de disminuir los costos y aumentar la probabilidad de utilizar este combustible amigable con el medio ambiente.

La primera manera de disminución de los costos es determinar cuál es el volumen mensual a demandar de modo que la industria esté interesada en importar el combustible y comprobar la capacidad de CMDIC de consumir esa cantidad. En el caso que CMDIC sea incapaz de consumir el mínimo requerido para importar biodiésel puede buscar realizar una alianza estratégica que le permita crear un conglomerado de consumidores de biodiésel, los que tengan la capacidad de consumir al menos el mínimo necesario para que se importe el combustible, disminuyendo así los costos. De realizarse esta opción el costo diferencial traído a tiempo presente de los próximos 5 años debería ser cercano a los kS\$100.000.

La segunda opción, siendo esta de largo plazo, sería apoyar activamente el proceso de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de biodiésel, lo que pondría a CMDIC en una posición privilegiada en cuanto este combustible sea competitivo. El problema es que se desconoce la necesidad de financiamiento de este tipo de proyectos, además de la actual existencia de algunos conglomerados de estudio con un buen grado de avance, lo que deja a CMDIC como un observador que espera la aparición en el mercado de este combustible a un precio más competitivo.

Finalmente se recomienda realizar el ejercicio de evaluar el uso de biodiésel nuevamente dentro del periodo 2015-2017, ya que se espera que, por esta fecha, los precios sean más competitivos.

## CAPITULO 11. BIBLIOGRAFÍA

1. ABI-KABARA, H. 2008. Biodiesel Validation in Caterpillar Engines. [Diapositivas]. En: 2008 National Biodiesel Conference & Expo. Orlando, Florida, USA. Caterpillar Inc. 20p.
2. AGUDELO, J., "et al". 2003. Biodiésel: una revisión del desempeño mecánico y ambiental. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 13:1-14.
3. ALFA ROMEO. [s.a.]. Important Fuel Information. [en línea]. <<http://www.alfaromeo.com.au/default.asp?action=article&ID=21725>>. [Consulta: 25 febrero 2011].
4. ARRIAZA, J. 2010. Estado Actual de los Biocombustibles en Chile. [Diapositivas]. En: V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles. Santiago, Chile. OLADE, IICA, FAO, Ministerio de Energía.
5. ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE ENERGÍAS RENOVABLES (APPA), PRICE WATTERHOUSE. 2005. Una Estrategia de biocarburantes para España (2005-2010). Adaptación a los objetivos de la Directiva 2003/30/CE. España. 191p.
6. AVILA, A. 2007. Proceso de Transesterificación. [diapositivas]. En: FORO BIOCMBUSTIBLES. Barranquilla, Colombia. Instituto para el Desarrollo Sostenible (IDS).
7. AZOCAR, R. 2009. Biocombustibles: Un aporte a la diversificación de la Matriz Energética. En: SEMINARIO INTERNACIONAL "Biocombustibles y su futuro en la matriz energética". Santiago, Chile. Embajada de Brasil y Universidad de Chile.
8. CADIU, P. 2010. Determinación de la huella de carbono de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM. Memoria de Ingeniero Civil en Minas. Santiago. Universidad de Santiago. 102p.
9. CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS (CIEMAT). 2006. Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase II. Análisis del ciclo de vida comparativo del Biodiésel y el Diésel. Madrid, España. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente. 139p.
10. CHILE, Ministerio de Economía. 2008a. Decreto 11: Aprueba definiciones y especificaciones de calidad para la producción, importación, transporte, almacenamiento y comercialización de bioetanol y biodiésel. 09 de mayo de 2008.
11. CHILE, Ministerio de Economía. 2009. Resolución 142 EXCENTA: Establece procedimientos para la inscripción de las personas naturales y jurídicas que realicen actividades de producción, importación, transporte, almacenamiento,

distribución, mezcla y comercialización de biocombustibles y sus instalaciones. 02 de febrero de 2009.

12. CHILE, Ministerio de Minería. 2008b. Decreto 128: Crea comisión asesora interministerial en materia de biocombustibles en Chile. 12 de agosto de 2008.
13. CHILE, Servicio de Impuestos Internos. 2007. Circular N°30: Instruye sobre tratamiento tributario de los biocombustibles denominados biodiésel y bioetanol. 16 de mayo de 2007.
14. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2011. Consumo por tipo de usuario. [planilla excel]. Santiago, Chile. <[http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/06\\_Estadisticas/Documentos/hidrocarburos/consumo\\_por\\_tipo\\_de\\_usuario.zip](http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/06_Estadisticas/Documentos/hidrocarburos/consumo_por_tipo_de_usuario.zip)>. [Consulta: 20 abril 2011]
15. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). 2011. Precio crudo Brent y WTI. [planilla excel]. Santiago, Chile. <[http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/06\\_Estadisticas/Documentos/hidrocarburos/precio\\_crudo\\_brent\\_wti.zip](http://www.cne.cl/cnewww/export/sites/default/06_Estadisticas/Documentos/hidrocarburos/precio_crudo_brent_wti.zip)>. [Consulta: 20 abril 2011]
16. COMPAÑÍA MINERA DOÑA INÉS DE COLLAHUASI. 2010. Informe de Desarrollo Sustentable y Estados Financieros 2009. Chile. 235p.
17. EARTH POLICY INSTITUTE (EPI). 2011. World Biodiésel Production, 1991-2010. [Planilla Excel]. Washington D.C., USA. <[http://www.earth-policy.org/datacenter/xls/book\\_wote\\_ch9\\_biofuels\\_7.xls](http://www.earth-policy.org/datacenter/xls/book_wote_ch9_biofuels_7.xls)>. [Consulta: 08 febrero 2011].
18. FIAT. [s.a.]. Frequently Asked Questions – FIAT cars. [en línea]. <<http://www.fiat.co.uk/Content/FAQs.aspx?categoryid=228#7248>>. [Consulta: 25 febrero 2011].
19. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, Capítulo 3: Combustión Móvil. Hayama, Japón. 78p.
20. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2009. Climate in Peril, A popular guide to the latest IPCC reports. Arendal, Norway. 60p
21. INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA). 2010. Atlas de Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: II Biodiésel. San José, Costa Rica. IICA. 346p.
22. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DE CHILE (INE). 2010. Parque de vehículos en circulación 2009. [en línea]. Santiago, Chile. <[http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario\\_de\\_publicaciones/pdf/14\\_05\\_10/completa\\_vehiculos\\_14\\_05\\_10.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/calendario_de_publicaciones/pdf/14_05_10/completa_vehiculos_14_05_10.pdf)>. [Consulta: 14 febrero 2011].

23. KNOTHE, G. 2005. The Biodiesel Handbook. USA. AOCS Press. 286p.
24. KOMATSU AMERICA CORP. 2008. Komatsu America Corp. Provides Recommendations for Biodiesel Usage. [en línea]. Komatsu Press Release. 25 febrero 2008. <<http://www.komatsuamerica.com/022508-biodiesel>>. [Consulta: 21 febrero 2011].
25. LAMOREAUX, J. 2007. Diseño Conceptual de una Planta de Biodiésel. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 144p.
26. MINERÍA CHILENA. 2011. Collahuasi lanza el reporte de medición de huella de carbono más completo del país. [En línea]. Minería Chilena. 11 enero 2011. <[http://www.mch.cl/noticias/index\\_neo.php?id=29405](http://www.mch.cl/noticias/index_neo.php?id=29405)>. [Consulta: 17 febrero 2011].
27. MORONES, A. [2006]. Biodiésel ITESM: investigación y aplicaciones. [Diapositivas] 16 diapositivas. En: Taller Práctico sobre Bioenergía. Monterrey, México. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
28. MUÑOZ, R. “et al”. 2010. Biocombustibles en Chile. II. Evaluación económica de la elaboración de biocombustibles. Agrociencia 44: 849-859.
29. OFICINA DE ESTUDIOS DE POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA), DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2011. Precio Aceite de Raps periodo 1975 - junio 2011. [en línea]. <[http://www.odepa.cl/servlet/sistemas.series\\_precios.tiempo.ServletTiempoTrx;jsessionid=08C2B04C4E0964B3FBF78D7F137364E4](http://www.odepa.cl/servlet/sistemas.series_precios.tiempo.ServletTiempoTrx;jsessionid=08C2B04C4E0964B3FBF78D7F137364E4)>. [Consulta: 06 de julio de 2011].
30. PSA PEUGEOT CITROËN. [s.a.]. PSA Peugeot Citroën en la senda de las energías alternativas. [en línea]. <[http://www.psa-peugeot-citroen.com/es/psa\\_grupo/energias\\_b3.php](http://www.psa-peugeot-citroen.com/es/psa_grupo/energias_b3.php)>. [Consulta: 25 febrero 2011].
31. RETANA, I. 2008. Transferencia tecnológica sobre las ventajas y desventajas de la utilización de biodiésel. San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Aprendizaje, Núcleo Mecánica de Vehículos. 43p.
32. RUIZ, J. 2009. Los biocombustibles en Chile, principales avances. En: SEMINARIO INTERNACIONAL “Biocombustibles y su futuro en la matriz energética”. Santiago, Chile. Embajada de Brasil y Universidad de Chile.
33. SHUMACHER, L. 1995. Cummins 5.9L biodiesel fuel engines. Columbia, Missouri, USA. University of Missouri-Columbia. 10p.
34. TOYOTA. [s.a.]. FAQs. [en línea]. <<http://www.toyota.com.au/faqs>>. [Consulta: 25 febrero 2011].



35. UNIÓN EUROPEA (UE). Comité Européen de Normalisation (CEN). 2008. EN 14214:2008: Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods. Octubre 2008.
36. UNIÓN EUROPEA (UE). Comité Européen de Normalisation (CEN). 2010. EN590:2009+A1 – Automotives fuels – Diesel – Requirement and test methods. Febrero 2010.
37. US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). 2011. Annual Energy Outlook 2011. Washington D.C. USA. Abril 2011. US Energy Information Administration. 235p.
38. US ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). [s.a]. Biodiesel Emission Reduction Calculation Spreadsheet. [planilla excel]. Washington D.C., USA. <[www.epa.gov/otaq/retrofit/documents/biodiesel\\_calc.xls](http://www.epa.gov/otaq/retrofit/documents/biodiesel_calc.xls)>. [Consulta: 17 febrero 2011]
39. US ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2002. A comprehensive analysis of biodiésel impacts on exhaust emissions. Washington D.C., USA. EPA. 118p.
40. VAN GERPEN, J.; “et al”. 2004. Biodiésel Production Technology. Virginia, USA. National Renewable Energy Laboratory. 105p.
41. VOLKSWAGEN. 2010. Biodiesel Statements. [Comunicado de prensa]. United Kingdom. 30 marzo 2010.
42. VOLVO. [s.a.]. Frequently Asked Questions and Answers. [en línea]. <[http://www.volvocars.com/uk/top/about/corporate/Pages/Faq\\_answers.aspx](http://www.volvocars.com/uk/top/about/corporate/Pages/Faq_answers.aspx)>. [Consulta: 25 febrero 2011].
43. WINTER, L. 2009. Plan de desarrollo de los biocombustibles, experiencias en Brasil y su implementación en Chile. En: SEMINARIO INTERNACIONAL “Biocombustibles y su futuro en la matriz energética”. Santiago, Chile. Embajada de Brasil y Universidad de Chile.

# **ANEXO A. POLÍTICAS DE COLLAHUASI**

## **A.1 Recursos Humanos**

### **Propósito**

Establecer los principios que regularán las actividades de gestión de los Recursos Humanos para establecer un ambiente de alto desempeño.

### **Principios**

- Buscamos atraer y seleccionar personas de alto desempeño. Con ese fin el proceso de selección asegurará las competencias técnicas y conductuales de los candidatos, identificando, entre otros factores, habilidades de aprendizaje, antecedentes educacionales y profesionales actitud hacia el trabajo, conducta ética y disposición para el mejoramiento continuo.
- Promovemos la cobertura de vacantes principalmente por la promoción de trabajadores adecuados, seleccionados desde dentro de la Compañía. El reclutamiento externo será llevado a cabo principalmente con egresados de universidades, centros de formación técnica o instituciones similares, privilegiando el reclutamiento de los mejores candidatos que vivan en la Primera Región.
- Colaboramos con las comunidades e instituciones educacionales locales para identificar a individuos talentosos que puedan ser capacitados en instituciones técnicas especializadas a fin de convertirse en candidatos para posiciones en la operación.
- Procuramos desarrollar nuestra propia cultura, una de alto desempeño que estimule la confianza entre sus trabajadores y hacia la Compañía, con trabajo en equipo y mejoramiento continuo. Destinamos recursos al desarrollo y promoción de estas conductas mediante entrenamiento apropiado.
- Propiciamos un buen ambiente local, contribuyente esencial para su gestión efectiva conducente al logro de un ambiente de alto desempeño, a la calidad de vida laboral, con estricto respeto de los derechos humanos de los trabajadores.
- Actuamos con cuidado y apego a la legislación laboral vigente y considerando la Declaración de Derechos Humanos en lo referente a la relación con nuestros trabajadores y velamos el cumplimiento de ésta en relación a los trabajadores propios y de empresas contratistas.
- Promovemos una comunicación fluida con el Sindicato considerándolos como socios comprometidos de la Compañía. Igual comunicación se tendrá con otras organizaciones constituidas por nuestros trabajadores.
- La Compañía no acepta actividades antisindicales.
- Fomentamos el entrenamiento y desarrollo profesional de las personas. Lo que permite la promoción interna, contribuye a la satisfacción laboral y apoya a los trabajadores en el mantenimiento y mejoramiento de su competitividad en el mercado laboral. En consecuencia, promovemos el desarrollo y la empleabilidad de las personas.

## **A.2 Ética y Conflicto de Intereses en los Negocios**

### **Propósito**

Establecer los principios que permitan una estricta observación de toda la política, norma y regulación que puedan ser aplicables al negocio y a las relaciones con las partes interesadas.

### **Principios**

- Actuamos con total integridad en nuestras relaciones con los grupos de interés y cumplimos nuestros compromisos con ellos.
- No ofrecemos, solicitamos ni aceptamos ninguna forma de soborno y no realizamos donaciones a partidos políticos o actividades proselitistas.
- No toleramos ninguna forma de fraude o apropiación o uso inapropiado de los recursos de la Compañía para beneficios personales.

- La honestidad es uno de los valores fundamentales de la Compañía y no está sujeta a crítica o restricción bajo ningún aspecto.
- Exigimos cumplimiento de nuestras normas de integridad en todo momento, a través de todos los niveles de la organización y también a nuestros colaboradores externos que participan con sus servicios y bienes en la operación de la Compañía.
- No aceptamos que ningún empleado obtenga sus resultados a costa de la violación de las leyes o mediante un comportamiento indigno. Por esta razón la Compañía apoya a todo empleado que rechace cualquier ventaja u oportunidad de negocio que sólo pueda ser conseguida renunciando a nuestros principios.
- Esperamos que todos los trabajadores cumplan los controles y reglas contables, procedimientos o reglamentos no siendo aceptable que alteren información, libros y registros de transacciones, oculten o modifiquen información a la Gerencia y/o a los auditores maliciosamente, ya sea para proteger a la Compañía o por intereses personales.
- Ningún Director o trabajador, cualquiera sea su nivel dentro de la organización, puede siquiera pensar que los intereses de la Compañía permiten adoptar un camino diferente dependiendo de la situación. Nadie tiene autoridad para dar órdenes o instrucciones verbales o escritas que vayan contra los principios de esta política.

### **Conflicto de Intereses**

- Es política de Collahuasi que los Directores, Gerentes, Supervisores y todos los empleados eviten cualquier conflicto entre sus propios intereses personales y los de la Compañía al tratar con proveedores de bienes o servicios, con clientes y con otras organizaciones o personas que negocien o deseen negociar con ella.
- La Compañía no acepta que nuestros colaboradores efectúen actos tendientes a que nuestro personal infrinja esta política.

## **A.3 Administración de Riesgos**

### **Propósito**

Establecer los principios que permitan reconocer la existencia de riesgos, evaluarlos adecuadamente y desarrollar acciones de mitigación que permitan controlarlos a un nivel aceptable.

### **Principios**

- Asumimos que existen condiciones, situaciones o eventos que pueden desencadenarse y resultar en consecuencias positivas o negativas para sus empleados, las comunidades donde sus instalaciones son vecinas, el medio ambiente, los activos o bienes y para sus dueños.
- Entendemos que el riesgo es un aspecto inseparable del negocio, que debe ser adecuadamente administrado y gestionado.
- La responsabilidad por la Administración de Riesgos recae en la Gerencia de la Compañía.
- En los distintos niveles de la organización incorporamos el análisis de los riesgos asociados dentro de las labores diarias que realizamos de manera sistemática.
- Tenemos definidas responsabilidades específicas sobre los distintos riesgos y cada unidad / función desarrolla las iniciativas de control y/o de mitigación que permiten mantener la exposición a un nivel aceptable.
- Contamos con un Sistema de Administración de Riesgos que nos permite asegurar un ambiente adecuado para aumentar el valor de la inversión de los accionistas a través de desarrollar y proteger a nuestros empleados, maximizar el uso de los activos bajo nuestra responsabilidad, cuidar al medio ambiente y la interacción con las comunidades vecinas a nuestras operaciones y mantener en alto nuestra reputación.
- Hemos adoptado la metodología "IRM" o "Gestión Integrada de Riesgos" asignando "Probabilidad de Ocurrencia" a los distintos eventos y la "Consecuencia" o "Impacto" a cada uno de ellos como resultado de su ocurrencia y así establecer las acciones de mitigación a implementar.

## **A.4 Calidad**

### **Propósito**

Establecer los principios y sistemas que permitan alcanzar la satisfacción de sus partes interesadas, personal y empresas contratistas.

## **Principios**

- Mejoramos continuamente, a través de la evaluación permanente de nuestros procesos y actividades, la gestión adecuada de nuestros recursos, y del Sistema de Gestión de Calidad con el fin de lograr nuestros objetivos como organización y la plena satisfacción de nuestros clientes internos y externos.
- Identificamos y cumplimos los requisitos de calidad de nuestros clientes y requerimientos legales asociados a sus productos.
- Promovemos el desarrollo y el compromiso del personal, creando un ambiente y condiciones de trabajo satisfactorios en un clima de confianza y respeto.
- Comprometernos a nuestros proveedores para el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta Política y así generar valor agregado al funcionamiento del negocio.

## **A.5 Contractual**

### **Propósito**

Establecer los principios que regulan las relaciones comerciales con proveedores de bienes tangibles e intangibles, incluyendo aquellos que prestan servicios o ejecutan obras bajo un contrato de servicios denominados contratistas, con el objetivo de hacer un uso eficiente de los recursos propios y disponibles en el mercado, que demandemos para nuestra operación.

### **Principios**

- Entendemos el rol de los proveedores y contratistas como la provisión de toda clase de bienes y servicios que requerimos y que decidamos no producir por nosotros mismos, ya sea porque el proveedor puede suministrarlos a un costo más eficiente, o gestionar mejor los riesgos involucrados o bien porque su producción demanda un grado de especialización con que no contamos y que puede encontrarse en el mercado en condiciones favorables de seguridad, oportunidad, calidad y precio.
- Extendemos a nuestros proveedores y contratistas las mismas exigencias que nos imponemos en ámbitos tales como seguridad, salud ocupacional, medio ambiente, calidad, gestión de recursos humanos, compromiso con la comunidad, ética en los negocios y mejoramiento continuo, en todo lo que fuere aplicable. Asimismo, verificamos que dichas exigencias sean plenamente cumplidas por los subcontratistas que se hubiesen autorizado.
- Velamos porque las relaciones contractuales se establezcan y mantengan en un contexto caracterizado por el respeto mutuo; el manejo apropiado y transparente de eventuales conflictos de intereses; la no discriminación en el acceso a información y en la adjudicación de contratos, esta última de acuerdo a la experiencia y a los méritos de cada proponente; la presunción de buena fe; la promoción y el desarrollo de la confianza; la reciprocidad conducente a la creación proporcionada de valor para ambas partes; la retroalimentación mutua oportuna y honesta, evaluando y reconociendo el buen desempeño, que promueva y facilite el mejoramiento continuo, compartiendo los beneficios que se deriven de éste.
- Procuramos que los trabajadores de las empresas contratistas que laboran en nuestras faenas cuenten con servicios cuya extensión y calidad sean equivalente a los otorgados al personal propio, en especial cuando se trate de contratistas permanentes.
- Promovemos el desarrollo de proveedores y contratistas competitivos locales y nacionales en línea con nuestra Política de Relaciones con la Comunidad y en el contexto del Clúster Minero, tanto participando en iniciativas sectoriales como colaborando con las asociaciones de proveedores y entidades públicas comprometidas con el desarrollo de la industria.

## **A.6 Seguridad y Salud Ocupacional**

### **Propósito**

Establecer los principios que regulen las condiciones y acciones que permitan trabajar en un ambiente de trabajo saludable y libre de incidentes.

### **Principios**

- Promovemos un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional basado en el mejoramiento continuo, que considere:
  - Identificación, evaluación y control de los riesgos.
  - Capacitación permanente del personal.
  - Desarrollo y aplicación de las más altas estándares.
  - Liderazgo Visible y Sistemático.
  - Auditorías.
  - Reconomiento.
- Fomentamos el compromiso y la participación en la Identificación, evaluación y Control de Riesgos, en todos los niveles de la Organización y Empresas Colaboradoras, mediante la motivación, capacidad y difusión permanente de las políticas, procedimientos, normas y reglamentos establecidos en la Organización.
- Cumplimos cabalmente con la legislación vigente y otros compromisos adquiridos por la organización que aseguren la protección de la vida y salud de toda persona que labore en nuestras instalaciones.
- Diseñamos, construimos y operamos los procesos y procedimientos, considerando y resguardando la integridad física y salud ocupacional del personal propio y de las Empresas Colaboradoras.
- Respondemos eficaz y eficientemente a las emergencias operacionales que puedan afectar a las personas y/o a los resultados del negocio, minimizando el impacto.
- Proveemos de los recursos en calidad y cantidad necesarias para el cumplimiento de esta política.
- No se tomarán acciones que por buscar un beneficio determinado pongan en riesgo la integridad física o salud del personal.

## **A.7 Medio Ambiente**

### **Propósito**

Establecer los principios que permitan el uso eficiente y sustentable de los recursos naturales considerando los impactos ambientales ocasionados por el desarrollo de los proyectos, la operación o el cierre de faena.

### **Principios**

- El entorno en el que se encuentran nuestras operaciones se protege a partir del reconocimiento y la protección de la biodiversidad y de los sistemas culturales-históricos en el que se encuentran.
- La conservación y protección del medio ambiente la realizamos a través del uso eficiente y sustentable de la energía y los recursos hídricos, la minimización de la generación de residuos y disminución de su peligrosidad y la prevención de la contaminación e impacto ambiental en sus instalaciones.
- Cumplimos con la legislación vigente, normativas, compromisos, procedimientos, estándares y acuerdos suscritos que sean aplicables a Collahuasi.
- Propiciamos una cultura ambiental basada en una comunicación transparente y honesta con nuestros trabajadores, accionistas, proveedores, clientes, autoridades y con las comunidades en las que estamos insertos.
- Integramos a nuestros empleados, proveedores y contratistas, en la implementación de esta Política, promoviendo y retribuyendo los aportes que resulten en procesos más responsables ambientalmente.
- En la Compañía entendemos que la gestión ambiental es responsabilidad de todos sus trabajadores propios y de empresas colaboradoras.
- Incentivamos la capacitación y entrenamiento del personal fortaleciendo la cultura y la conciencia ambiental en Collahuasi y en la comunidad.
- Contribuimos a nivel regional o nacional en la discusión, desarrollo y difusión de políticas, legislaciones, regulaciones, prácticas y técnicas que promuevan en conjunto el cuidado ambiental y el desarrollo.
- La Compañía considera en su accionar los principios del ICMM para el desempeño con respecto al desarrollo sustentable.
- Es política de Collahuasi informar a las autoridades y comunidad, cuando corresponda, en forma veraz, transparente y oportuna los eventos que la Compañía considere relevantes.
- Mejoramos nuestras prácticas ambientales, en las distintas etapas de desarrollo de Collahuasi y sus proyectos a base de la experiencia, promoviendo permanentemente el desarrollo continuo.

## **A.8 Relaciones con la comunidad y Asuntos Corporativos**

### **Propósito**

Establecer los principios que regulan la relación que nuestras operaciones mantienen con las comunidades donde operamos y en cumplimiento de su programa de responsabilidad social.

### **Principios**

- En Collahuasi respetamos los intereses, culturas y costumbres locales, así como los derechos de los miembros de la comunidad, teniendo especial preocupación por los elementos distintivos de cada una de ellas. Pondremos especial énfasis en el desarrollo y mantención de buenas relaciones con las comunidades originarias existentes en el área en la que desarrolla sus operaciones.
- Trabajamos en conjunto con las autoridades locales, los representantes de la comunidad las organizaciones no gubernamentales y las otras partes interesadas con el objetivo de apoyar el desarrollo de las comunidades locales en un marco de sustentabilidad.
- Queremos ser percibidos por la comunidad como una empresa confiable, transparente y veraz y que contribuye al desarrollo de la Región y del País.

### **Relaciones con la Comunidad**

- Mantendremos en forma permanente una presencia ante la comunidad, logrando ser percibida con una empresa confiable, creíble y respetuosa de los derechos de las personas y de la comunidad.
- Gestionaremos en forma permanente el diálogo e interrelación participativa con las comunidades, sea a través de las autoridades que las representan o directamente con sus habitantes, organizaciones o instituciones, a fin de ser considerado un miembro reconocido de dicha comunidad.
- Cumplimos irrestrictamente con la ley y en su quehacer no nos restringimos solo al cumplimiento de ella, sino que actuamos más allá de lo que exige la normativa legal.
- Desarrollamos actividades con la comunidad y sus representantes, que permitan de detectar anticipadamente los efectos que las operaciones de la compañía pueden provocar en las comunidades, así como conocer sus necesidades, a fin de acordar ámbitos de acción para su desarrollo con dichas comunidades.

### **Aportes y Donaciones**

- Favorecemos el apoyo a proyectos de mediano o largo alcance que sean sustentables y que signifiquen un real aporte a la comunidad, por sobre los aportes puntuales y de corto plazo.
- En Collahuasi no efectuaremos donaciones a actividades con fines de lucro que realcen persona o entidades particulares, ni a partidos políticos o actividades proselitistas.

### **Comunicaciones Corporativas**

- Reconocemos la importancia de los medios de prensa como un vínculo para la comunicación desde y hacia la comunidad.
- Es política de Collahuasi informar a las autoridades y comunidad, cuando corresponda, en forma veraz, transparente y oportuna los eventos que la Compañía considere relevantes.
- La comunicación, o entrega de informaciones a los medios de prensa en general, se efectuará exclusivamente a través del Presidente Ejecutivo, del Vicepresidente Legal, de Asuntos Corporativos y Relaciones con la Comunidad o del Gerente de Asuntos Corporativos. Cualquier declaración y/o publicación que involucre a la Compañía deberá ser aprobada, previamente por el Presidente Ejecutivo, el Vicepresidente del área respectiva y la Vicepresidencia Legal, de Asuntos Corporativos y relaciones con la Comunidad.

## **A.9 Recursos Hídricos**

### **Propósito**

Establecer los principios que fijen un marco de referencia para asegurar el logro de una gestión hídrica sostenible y eficiente, que maximice para Collahuasi el beneficio de los recursos hídricos y al mismo tiempo, reconozca el innegable ámbito social y ambiental del agua en la región.

### **Principios**

- Relacionamos permanentemente la planificación hidrológica con la estrategia corporativa.
- Mantenemos una estrategia corporativa respecto del agua cuyos principios sean claros y transparentes frente a los organismos reguladores y las comunidades vecinas.
- Velamos por un desarrollo coherente con las regulaciones, ordenanzas gubernamentales y principios generales de protección del recurso hídrico.
- Buscamos permanentemente mejorar la eficiencia en el uso del recurso, así como generar conciencia interna sobre los temas relacionados con el cuidado del agua.
- Realizamos una gestión hídrica dinámica basada en la constante optimización de los servicios y beneficios que se obtienen de los sistemas hidrogeológicos.
- Estamos comprometidos a mantener en el tiempo la capacidad productiva de la matriz hídrica en uso.
- Hacemos un seguimiento permanente y anticipado de los impactos hidráulicos y su influencia en el funcionamiento de los ecosistemas.
- Evitamos la contaminación de los acuíferos que sostienen la matriz hídrica de la Compañía o de cualquier otro relacionado con sus operaciones.
- Nos comprometemos a definir un protocolo de operación que priorice las extracciones en áreas menos sensibles desde un punto de vista medioambiental y comunitario.
- Contamos con equipamiento especializado y aplicamos tecnología de punta que nos permita conocer en detalle las características de nuestros acuíferos y cómo ellos se relacionan con los ecosistemas presentes en la zona.

## **A.10 Energía**

### **Propósito**

Establecer los principios que permitan asegurar el suministro de las diferentes formas de energía que requiere la Compañía, de manera ambiental y económicamente sostenible, desarrollando mejoras continuas y sustentables en su desempeño ambiental, mediante la innovación, la gestión y el uso eficiente de la energía.

### **Principios**

- Trabajamos en el desarrollo e implementación de un Sistema de Gestión de Energía transparente, auditable y basado en normas nacionales e internacionales, que contemple las distintas fuentes y usos posibles de energía al interior de nuestras instalaciones.
- Desarrollamos e implementamos programas para identificar, evaluar y controlar la disponibilidad y el uso eficiente de los recursos energéticos en las distintas áreas de la Compañía.
- Diseñamos, construimos y operamos nuestras instalaciones de manera de cumplir con todas las leyes, normas y regulaciones vigentes aplicables al uso y transformación de recursos energéticos y, en ausencia de ellas, buscamos y aplicamos buenas prácticas de administración e ingeniería, a fin de asegurar su empleo responsable.
- Fomentamos las buenas prácticas en materia de eficiencia energética, con el fin de cumplir con los objetivos de crecimiento sostenible planteados por la Compañía.
- Integramos a nuestros proveedores y contratistas en la implementación de esta Política, promoviendo su alineamiento con ella a través de la ejecución por parte de éstos de los programas de desarrollo sustentable y eficiencia energética respectivos.
- Incentivamos la capacitación y entrenamiento de todo nuestro personal en el uso y gestión de los recursos energéticos.
- Mantenemos una comunicación abierta con los empleados y la comunidad, informando los resultados alcanzados y avances de los programas relacionados con el uso eficiente de la energía.
- Promovemos la medición y reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, producto de la utilización de recursos energéticos empleados en nuestras operaciones y por nuestros contratistas y proveedores.
- Contribuimos a nivel regional o nacional, según corresponda con el desarrollo y difusión de políticas, legislaciones, regulaciones, normas, prácticas y técnicas que promuevan el uso eficiente de la energía y el desarrollo de nuevas fuentes primarias que sean consistentes con esta Política.
- Observamos permanentemente el desarrollo de las Energías Renovables No Convencionales y otras tecnologías relacionadas con Eficiencia Energética y promovemos su potencial aplicación en nuestras operaciones, ya sea directamente o a través de nuestros proveedores o contratistas.

## ANEXO B. ÍNDICE INTERNACIONAL DEL CRUDO DE PETRÓLEO (WTI)

Fuente: CNE, 2011.

MES	WTI Precio Mes (US\$/bbl)	Promedio Serie WTI (US\$/bbl)	Promedio WTI - desv est (US\$/bbl)	Promedio WTI + desv est (US\$/bbl)
Enero-05	46.83	60.74	34.79	86.69
Febrero-05	47.94	60.74	34.79	86.69
Marzo-05	54.33	60.74	34.79	86.69
Abril-05	52.89	60.74	34.79	86.69
Mayo-05	49.84	60.74	34.79	86.69
Junio-05	56.36	60.74	34.79	86.69
Julio-05	58.68	60.74	34.79	86.69
Agosto-05	64.96	60.74	34.79	86.69
Septiembre-05	65.52	60.74	34.79	86.69
Octubre-05	62.28	60.74	34.79	86.69
Noviembre-05	58.29	60.74	34.79	86.69
Diciembre-05	59.41	60.74	34.79	86.69
Enero-06	65.39	60.74	34.79	86.69
Febrero-06	61.49	60.74	34.79	86.69
Marzo-06	62.82	60.74	34.79	86.69
Abril-06	69.48	60.74	34.79	86.69
Mayo-06	70.89	60.74	34.79	86.69
Junio-06	70.88	60.74	34.79	86.69
Julio-06	74.33	60.74	34.79	86.69
Agosto-06	73.13	60.74	34.79	86.69
Septiembre-06	64.00	60.74	34.79	86.69
Octubre-06	58.82	60.74	34.79	86.69
Noviembre-06	58.94	60.74	34.79	86.69
Diciembre-06	61.96	60.74	34.79	86.69
Enero-07	54.70	60.74	34.79	86.69
Febrero-07	59.21	60.74	34.79	86.69
Marzo-07	60.62	60.74	34.79	86.69
Abril-07	63.84	60.74	34.79	86.69
Mayo-07	63.46	60.74	34.79	86.69
Junio-07	69.62	60.74	34.79	86.69
Julio-07	73.98	60.74	34.79	86.69
Agosto-07	72.36	60.74	34.79	86.69
Septiembre-07	79.69	60.74	34.79	86.69
Octubre-07	85.87	60.74	34.79	86.69
Noviembre-07	94.90	60.74	34.79	86.69
Diciembre-07	91.76	60.74	34.79	86.69
Enero-08	93.01	60.74	34.79	86.69



Febrero-08	95.40	60.74	34.79	86.69
Marzo-08	105.31	60.74	34.79	86.69
Abril-08	112.63	60.74	34.79	86.69
Mayo-08	125.66	60.74	34.79	86.69
Junio-08	134.08	60.74	34.79	86.69
Julio-08	133.82	60.74	34.79	86.69
Agosto-08	116.58	60.74	34.79	86.69
Septiembre-08	104.15	60.74	34.79	86.69
Octubre-08	76.62	60.74	34.79	86.69
Noviembre-08	57.11	60.74	34.79	86.69
Diciembre-08	40.62	60.74	34.79	86.69
Enero-09	41.64	60.74	34.79	86.69
Febrero-09	39.08	60.74	34.79	86.69
Marzo-09	48.00	60.74	34.79	86.69
Abril-09	49.88	60.74	34.79	86.69
Mayo-09	59.21	60.74	34.79	86.69
Junio-09	69.68	60.74	34.79	86.69
Julio-09	64.23	60.74	34.79	86.69
Agosto-09	71.05	60.74	34.79	86.69
Septiembre-09	69.34	60.74	34.79	86.69
Octubre-09	75.73	60.74	34.79	86.69
Noviembre-09	77.91	60.74	34.79	86.69
Diciembre-09	74.53	60.74	34.79	86.69
Enero-10	78.35	60.74	34.79	86.69
Febrero-10	76.34	60.74	34.79	86.69
Marzo-10	81.25	60.74	34.79	86.69
Abril-10	84.47	60.74	34.79	86.69
Mayo-10	73.65	60.74	34.79	86.69
Junio-10	75.29	60.74	34.79	86.69
Julio-10	76.11	60.74	34.79	86.69
Agosto-10	76.62	60.74	34.79	86.69
Septiembre-10	75.14	60.74	34.79	86.69
Octubre-10	81.89	60.74	34.79	86.69
Noviembre-10	84.08	60.74	34.79	86.69
Diciembre-10	89.15	60.74	34.79	86.69
Enero-11	89.49	60.74	34.79	86.69
Febrero-11	89.40	60.74	34.79	86.69
Marzo-11	102.99	60.74	34.79	86.69
Abril-11	109.98	60.74	34.79	86.69

## ANEXO C. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULOS

### C.1 *Calculo de coeficientes de emisión de GEI*

El factor de emisión de los distintos GEI se calcula de la siguiente forma:

$$FE_i = FE_{IPCC} \cdot PC_i \cdot \rho_i \cdot Fox_i$$

Donde:

- $FE_i$ : Factor de emisión del combustible i
- $FE_{IPCC}$ : Factor de emisión propuesto por la IPCC
- $PC$ : Poder Calorifico Inferior del combustible i
- $P_i$ : Densidad del combustible i
- $Fox_i$ : Factor de Oxidación del combustible i

A continuación se presentan los datos entregados por la IPCC en la 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Combustible	CO <sub>2</sub> (Kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (Kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (Kg/TJ)	Poder Calorifico Inferior (TJ/Gg)	Factor de Oxidación
<b>Diésel</b>	74100	3,9	3,9	43	100%

Estos factores se determinan mediante la estequiometria, considerándose la siguiente formula para el caso del CO<sub>2</sub>:

$$FE_{CO_2} = C_c \cdot PC \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

- $FE_{CO_2}$ : Factor de emisión para el CO<sub>2</sub>
- $C_c$ : Factor del contenido de carbono del diésel
- $PC$ : Poder Calorifico inferior:
- $(44/12)$ : Relación entre el peso molecular del CO<sub>2</sub> y el C

Con los datos entregados anteriormente, y utilizando también el hecho que la densidad del diésel es de 0,84 Kg/L. se tiene que:

$$FE_{Diésel} = 74.100 \cdot \frac{43}{1.000.000} \cdot 0,84 \cdot 1 = 2,6765 \text{ Kg } CO_2/L$$

Utilizando la misma metodología se obtienen los siguientes resultados:

Combustible	Kg CO <sub>2</sub> /L	Kg CH <sub>4</sub> /L	Kg N <sub>2</sub> O/L
Diésel	2,6765	0,00014	0,00014

## C.2 *Calculo de Flujo de Caja*

Dado que los precios de la compañía, en lo que son combustibles líquidos, son precios confidenciales (Tanto para el diésel como para el biodiésel), los cálculos de flujo de caja se realizan utilizando el diferencial entre el uso de biodiésel B5 y el diésel de petróleo.

Este diferencial se refleja de la siguiente manera:

$$\Delta_{Precio} = P_{BD5\%} - P_D = (0,05 \cdot P_{BD} + 0,95 \cdot P_D) - P_D = 0,05(P_{BD} - P_D)$$

Donde:

- P<sub>D</sub>: Precio del diésel de petróleo
- P<sub>BD</sub>: Precio del Biodiésel Puro (B100)
- P<sub>BD5%</sub>: Precio de la mezcla de diésel y biodiésel con una concentración de un 5% de este último (B5)

Todos los valores referidos en los flujos de caja corresponden a el diferencial recién explicado.

## ANEXO D. CONSUMO HISTÓRICO DE LOS VEHÍCULOS DE LA PRUEBA

Consumo desde 01 de enero de 2010 hasta marzo de 2011 según datos de Collahuasi.

Mes\Vehículo	VHCC1	VHPY2	VHPY1	VHPP1	VHPP2	VHPP3	VHP4	VHMA1
Ene10	374	0	0	0	0	554	0	341
Feb10	429	0	0	0	0	313	0	212
Mar10	426	0	0	0	0	0	0	171
Abr10	466	0	0	0	0	0	58	140
May10	346	0	0	0	0	0	0	191
Jun10	339	0	0	0	0	0	52	262
Jul10	433	0	0	0	0	0	94	208
Ago10	488	0	0	0	0	0	0	178
Sep10	376	173	0	0	0	0	56	123
Oct10	407	229	0	0	0	0	53	249
Nov10	203	65	0	0	0	0	32	74
Dic10	408	334	0	0	0	0	46	124
Ene11	397	737	0	0	0	0	91	179
Feb11	349	308	671	0	0	0	345	160
Mar11	0	236	608	0	0	0	68	255

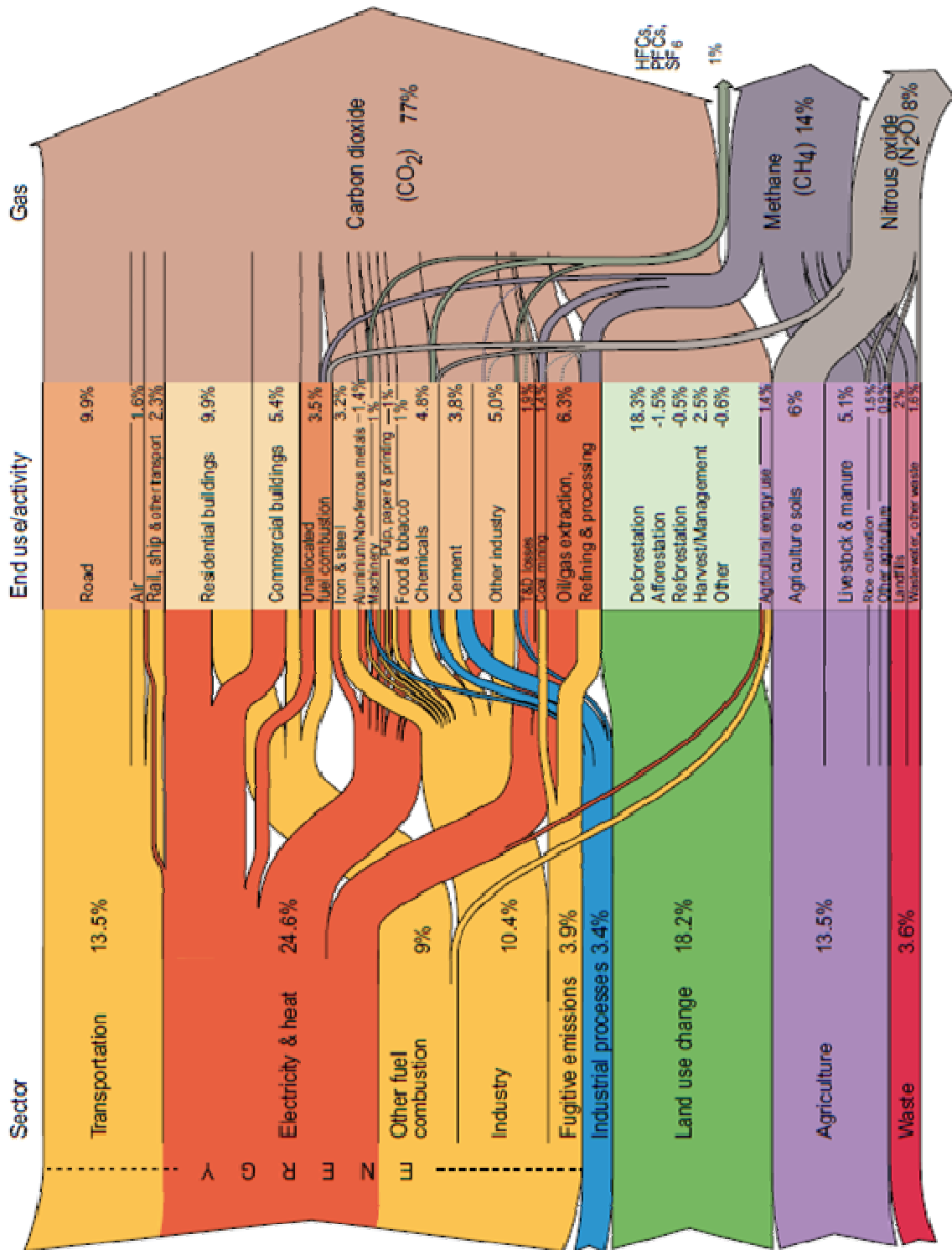
Para calcular el consumo de los vehículos que no tienen consumo registrado en el periodo, por ser vehículos nuevos, se utiliza un promedio simple entre todos los vehículos del área (esto pasa en los vehículos de Puerto, donde hay 4 vehículos en funcionamiento y sólo 2 tiene consumos registrados).

Utilizando esta lógica los consumos promedio semanal son los siguientes:

Vehículo	Consumo Semanal Promedio
VHCC1	89.83
VHPY2	68.75
VHPY1	151.75
VHPP1	33.80
VHPP2	33.80
VHPP3	102.86
VHP4	20.68
VHMA1	44.11
<b>Total</b>	<b>545.56</b>

# ANEXO E. EMISIONES GLOBALES DE GEI POR SECTOR

Fuente: IPCC 2007.



# ANEXO F. REPORTAJE SOBRE LA PRIMERA CARGA DE BIODIÉSEL DE LA PRUEBA

Fuente: La Estrella de Iquique, Página A-8 del 30 de mayo de 2011

**A-8**

La Estrella

CRONICA

**Collahuasi pretende mitigar emisiones que afectan al medioambiente**

## Prueban biodiésel en camionetas

Mitigar los efectos nocivos que la emisión de gases pueden generar en el medioambiente y optimizar los procesos productivos, es el objetivo de la prueba que la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi efectuará con biodiésel B5 en ocho camionetas durante diez semanas.

El biodiésel B5 a utilizar está conformado por 5% biodiésel y 95% diésel tradicional.

Diego Lizana, asesor en Eficiencia Energética de Collahuasi, señaló que "el proyecto del uso de biodiésel nace como consecuencia de la medición de la Huella de Carbono de la compañía, siendo una de las medidas a evaluar para mitigar el impacto medioambiental que reflejó esa medición".

### COLABORACIÓN

En el proyecto también



El biodiésel B5 a utilizar está conformado por 5% biodiésel puro y 95% diésel tradicional.

participa Hertz, empresa dueña de las camionetas que obtuvo de Toyota la certificación del uso del biodiésel, a la que se suma Copec como proveedor del combustible. Sin embargo, será la minera la encargada de realizar las

evaluaciones pertinentes. El año 2010 comenzó la implementación del Sistema de Gestión de Energía y Gases Efecto Invernadero, GEI, basado en la futura norma ISO 50.001, que apunta a mejorar el uso de los distintos elementos

energéticos usados al interior de la firma minera.

De las ocho camionetas que contempla la prueba, 4 corresponden a Gerencia de Operaciones Puerto, 2 de Proyectos, 1 de Medio Ambiente y 1 de Comunicaciones.

# ANEXO G. HOJA DE SEGURIDAD DEL BIODIÉSEL



**COPEC**  
Primera en servicio

## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

El formato de esta hoja de seguridad cumple con la NCh 2245 Of.03

**BIOADITIVO**

### SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

Nombre del producto	<b>BIOADITIVO</b>
Proveedor	Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A. Agustinas 1382 Santiago - Chile.
Fono de emergencia	800.200.220
Fax	56 (02) 699 3794

### SECCION 2: COMPOSICIÓN / INGREDIENTES

Nombre Químico (IUPAC)	Metil Esteres de Raps.
Fórmula química	No aplicable, es mezcla variable.
Sinónimos	Biodisel, Metil de Raps.
Familia química	R-COO-CH <sub>3</sub> .
N° CAS	73891-99-3.
N° NU	No tiene por ser un producto no peligroso.

### SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Marca en etiqueta NINGUNA, porque no es un producto peligroso.

Identificación de riesgo Salud: 0 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0

#### PELIGROS PARA LA SALUD DE LAS PERSONAS:

Efectos de una sobreexposición aguda El producto no presenta riesgos en el uso industrial normal.

Inhalación El producto no presenta peligros. Vapores en alta concentración, puede causar irritación al sistema respiratorio.

Contacto con la piel Si el contacto se prolonga o si es frecuente y prolongado puede causar irritación a la piel.

Contacto con los ojos Si no se elimina rápidamente el producto puede causar una leve irritación.

Ingestión El producto no presenta riesgos en el uso industrial normal. No hay datos que indiquen alguna afección crónica debida al contacto con el producto.

Efectos de una sobreexposición crónica Ninguna en especial.  
Condiciones médicas que se verán agravadas con la exposición al producto

PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE El producto presenta sólo un riesgo menor al medio ambiente.

PELIGROS ESPECIALES DEL PRODUCTO El producto no tiene peligros especiales.

Vigencia desde: Mayo 2011

Página 1 de 5



---

#### **SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS**

---

En caso de contacto accidental con el producto, proceda de acuerdo con:

Inhalación	Traslade al afectado al aire fresco y ayude a la respiración, si es necesario.
Contacto con la piel	Lavar de inmediato la piel con abundante agua corriente y jabón. Retire la ropa contaminada.
Contacto con los ojos	Lave los ojos con abundante agua corriente durante 15 minutos. Incluso debajo de los párpados. Solicite asistencia de un médico.
Ingestión	Dar agua o leche a beber, para facilitar el enjuague. No induzca el vómito. Solicite asistencia médica.
Notas para el médico tratante	En caso de ingestión considere un lavado intestinal, si es que no hay signos de daño estomacal.

---

#### **SECCION 5: MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO**

---

Agentes de extinción	Polvo químico seco; espuma de alcohol; CO2.
Procedimientos especiales para combatir el fuego	El producto presenta un peligro insignificante cuando se lo expone a calor o llamas.
Equipos de protección personal para atacar el fuego	El personal que ataca el incendio debe ir provisto de equipos de respiración autónoma.

---

#### **SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS**

---

Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material	Haga diques para contener el derrame. Recupere el material que sea posible. Póngalo en contenedores para su posterior disposición.
Equipo de protección personal para atacar la emergencia	Traje químico de nivel C, botas de neopreno y lentes de protección química.
Precauciones a tomar para evitar daños al ambiente	Luego de recoger el producto, puede lavar los restos con agua. El agua de lavado debe ser recogida para ser eliminada de manera autorizada.
Métodos de limpieza	Los últimos restos pueden ser lavados con agua.
Método de eliminación de desechos	Los desechos pueden ser incinerados en instalaciones especialmente diseñadas y aprobadas al efecto.

---

#### **SECCION 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

---

Recomendaciones técnicas	El producto no necesita tratamientos especiales. Debe ser manejado con las precauciones normales para productos químicos inocuos para las personas.
Precauciones a tomar	Ninguna en especial.
Recomendaciones específicas sobre manipulación segura	Ninguna en especial.
Condiciones de almacenamiento	El producto debe almacenarse a temperaturas entre 10 y 50°C, bajo techo y ambiente seco y libre de humedad. El producto se degrada, al estar almacenado en envases abiertos y expuestos a radiación solar.
Embalajes recomendados y no	Estanques, tanques, tambores y contenedores autorizados por la

Vigencia desde: Mayo 2011 Página 2 de 5





adecuados SEC. No se permite envases de vidrios, excepto para productos de laboratorio o análisis.

---

#### SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN AMBIENTAL

---

Medidas para reducir la posibilidad de exposición	Se recomienda que en los lugares de trabajo con el producto exista ventilación local, ya sea natural o forzada.
Parámetros para control	Límites Permisibles: No se han fijado para el producto.
Protección respiratoria	No se necesita en condiciones normales. Si las condiciones del local la hiciesen indispensable, use trompa respiratoria con filtros para vapores orgánicos.
Guantes de protección	Use guantes de nitrilo, de puño largo.
Protección de la vista	Use lentes de protección química.
Otros equipos de protección	No se necesitan en forma especial.
Ventilación	Debe haber, ya sea natural o forzada.

---

#### SECCION 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

---

Estado físico	Líquido.
Apariencia y olor	Líquido amarillo pálido, olor leve.
Concentración	100% Bioaditivo.
pH	No aplicable.
Temperatura de descomposición	No hay datos disponibles.
Punto de inflamación	130°C.
Temperatura de autoignición	No hay datos disponibles.
Propiedades explosivas	No tiene.
Peligros de fuego o explosión	No tiene.
Densidad de vapor	Aire = 1:> 1
Presión de Vapor	< 2 de evaporación
Punto de ebullición	760 mm Hg: > 200° C
Solubilidad en el agua y otros solventes	Insoluble en agua.

---

#### SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

---

Estabilidad	Estable en contenedores cerrados y bajo condiciones normales de temperatura y presión.
Condiciones que se deben evitar	Altas temperaturas, chispas y fuego. El sobrecalentamiento de los envases puede generar su ruptura violenta debido a la presión generada.
Incompatibilidad	Materiales oxidantes fuertes, agentes reductores, ácidos y bases fuertes.
Productos peligrosos de la descomposición	La combustión produce monóxido de carbono, dióxido de carbono junto con espeso humo.
Productos peligrosos de la combustión	Se generan monóxido y dióxido de carbono. Humos tóxicos en combustión incompleta.
Polimerización peligrosa	No se producirá al usar en condiciones recomendadas. No polimeriza.

Vigencia desde: Mayo 2011

Página 3 de 5



---

### SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

---

Toxicidad aguda	Irritante leve de la piel y de los tejidos.  Toxicidad oral: Prácticamente no tóxico (LD50: 17,4 mg/Kg). (Basado en pruebas realizadas con productos o componentes similares).  Toxicidad dérmica: Prácticamente no tóxico (LD50: 17,4 mg/Kg) (Basado en pruebas realizadas con productos o componentes similares). Irritante leve de la Piel.  Toxicidad por inhalación: No aplicable (Es improbable que se produzcan concentraciones nocivas de nieblas o vapores si se emplean los métodos acostumbrados, u otros previsiblemente razonables, de manipulación, uso o abuso de este producto).  Irritación de los ojos: Prácticamente no irritante. (LD50: 17,4 mg/Kg). (Basado en pruebas realizadas con productos o componentes similares). Irritante de los Ojos.
Toxicidad crónica o de largo plazo	No existen evidencias de efectos adversos en el largo plazo.
Efectos locales	Irritante leve de la piel y Ojos.
Sensibilización	No existen datos al respecto.

---

### SECCION 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

---

Inestabilidad	Estable en condiciones normales.
Persistencia/Degradabilidad	Este producto es Biodegradable.
Bio-acumulación	Todos los componentes de este material, se bio-acumularan.
Efectos sobre el ambiente	En grandes cantidades puede contaminar los cursos de agua y suelo al incorporarse a ellos. Este producto es insoluble y flota en el agua.

---

### SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN FINAL

---

Método de eliminación del producto en los residuos	Para disposición del producto o sus residuos, disponga en instalaciones especialmente diseñadas y autorizadas al efecto.
Eliminación de envases/embalajes contaminados	Los envases metálicos pueden ser reutilizados después de ser tratados en empresas autorizadas al efecto. En el caso de disponer como chatarra, hay que descontaminarlos en lugares autorizados para tal efecto.

---

### SECCION 14: INFORMACIÓN PARA EL TRANSPORTE

---

N Ch 2190, marcas	Ninguna, por no ser un producto peligroso.
N° NU	No tiene.



---

**SECCION 15: NORMAS APLICABLES**

---

Normas internacionales aplicables	Ninguna, por no ser un producto peligroso.
Normas nacionales aplicables	Ninguna en especial, por no ser un producto peligroso.
Marca en etiqueta	Ninguna.

---

**SECCION 16: OTRA INFORMACIÓN**

---

No hay.

---

La información consignada en esta Hoja de Datos de seguridad fue obtenida de fuentes confiables. Sin embargo, se entrega sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o corrección. Las opiniones expresadas en este documento son de profesionales capacitados de Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A. La información que se entrega es la conocida actualmente sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, Compañía de Petróleos de Chile Copec S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto. El usuario está obligado a establecer las condiciones de uso seguro del producto.

**RCV/Departamento de Medioambiente, Prevención y Seguridad.**

# ANEXO H. PRECIO HISTÓRICO DEL ACEITE DE RAPS

Fuente: ODEPA

Precios en US\$/Ton Métrica

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1975	769.00	662.00	607.00	624.00	504.00	476.00	556.00	590.00	548.00	488.00	409.00	375.00	550.67
1976	381.00	378.00	393.00	374.00	365.00	388.00	451.00	416.00	443.00	450.00	456.00	475.00	414.17
1977	494.10	551.50	607.80	693.10	717.30	648.30	548.10	504.40	531.70	527.00	542.60	597.30	580.27
1978	562.10	548.90	612.90	651.20	653.40	608.80	528.80	537.60	572.30	607.30	603.80	591.00	589.84
1979	602.60	632.40	637.70	630.90	623.80	633.20	658.80	644.10	670.40	643.60	644.68	629.63	637.65
1980	586.05	590.50	553.68	535.61	538.29	540.56	596.85	599.01	575.28	530.22	584.88	554.03	565.41
1981	509.34	478.30	491.07	505.01	483.95	474.52	469.99	461.84	464.43	473.85	463.65	440.22	476.35
1982	432.81	435.56	431.78	435.60	471.05	431.23	406.37	387.40	391.54	388.61	379.46	383.36	414.56
1983	385.05	385.16	387.90	399.06	408.24	397.78	416.98	574.59	680.46	662.16	631.98	631.58	496.75
1984	666.44	654.06	706.56	745.54	844.59	792.41	676.22	654.80	661.51	646.17	637.98	571.91	688.18
1985	612.86	631.80	656.63	672.64	633.21	610.45	544.44	481.00	413.42	399.16	410.60	429.64	541.32
1986	405.36	340.53	322.49	328.99	314.91	315.04	290.20	237.74	237.42	288.36	298.39	309.85	307.44
1987	301.80	292.03	288.42	296.89	313.80	307.17	283.46	276.34	290.24	308.25	315.94	368.32	303.56
1988	422.69	382.40	359.27	364.12	389.23	497.55	543.03	494.99	434.95	398.94	402.83	425.33	426.28
1989	409.87	402.78	425.02	416.80	423.15	417.99	406.27	385.76	395.57	417.21	428.57	418.68	412.31
1990	410.98	425.00	427.26	431.71	441.29	420.00	406.67	433.86	413.73	426.28	409.49	423.71	422.50
1991	415.49	419.56	426.28	431.73	425.80	414.02	383.33	390.20	411.13	412.83	418.19	410.18	413.23
1992	405.80	401.66	419.35	414.70	428.36	440.59	424.33	414.20	415.99	420.19	435.10	439.34	421.63
1993	441.61	427.57	427.33	442.04	445.43	451.51	466.49	454.88	465.80	479.56	558.57	581.07	470.16
1994	598.10	578.64	586.43	584.77	600.45	519.18	578.04	621.20	671.60	647.64	709.76	702.09	616.49
1995	687.32	668.25	659.46	618.42	598.39	606.27	615.21	587.47	570.76	603.66	591.19	571.77	614.85
1996	544.05	531.16	521.56	575.16	596.04	573.74	553.28	570.60	586.78	552.54	554.79	533.04	557.73
1997	541.94	532.41	544.66	546.04	549.15	537.03	517.78	519.21	551.74	635.49	684.41	631.40	565.94
1998	634.42	642.31	649.01	663.61	670.60	628.48	605.17	587.23	615.11	609.83	614.28	593.01	626.09
1999	551.55	470.40	437.07	449.95	428.55	408.43	384.22	402.03	406.06	388.48	375.93	371.30	422.83
2000	367.02	359.73	369.05	379.35	352.89	337.69	346.08	341.70	329.93	322.77	323.49	338.02	347.31
2001	335.86	341.79	363.30	376.54	376.89	368.93	427.21	445.73	440.00	434.60	446.29	458.02	401.26
2002	449.54	416.26	411.64	407.68	411.54	452.36	477.73	516.82	524.64	546.57	588.79	615.17	484.90
2003	621.63	583.45	554.21	587.57	627.04	606.19	593.12	552.35	568.41	609.29	618.61	657.15	598.25
2004	669.95	698.23	676.99	702.36	714.56	691.34	652.84	668.00	665.53	668.86	682.44	704.74	682.99
2005	518.05	640.85	660.47	648.06	647.48	637.30	634.04	648.04	684.96	741.52	726.12	710.58	658.12
2006	734.25	725.45	740.04	794.42	833.60	833.84	815.02	811.71	785.71	790.10	819.33	856.90	795.03
2007	819.74	782.71	764.12	803.33	831.69	856.17	922.58	957.99	1044.95	1175.44	1257.57	1378.92	966.27
2008	1411.47	1434.03	1523.40	1481.47	1516.26	1583.13	1542.22	1359.41	1239.79	1044.53	978.52	832.52	1328.90
2009	823.16	782.08	753.09	828.74	944.21	919.35	850.12	884.04	854.65	893.77	932.08	940.16	867.12
2010	915.94	901.18	910.33	910.21	862.41	876.47	944.25	1014.83	1029.69	1148.37	1246.12	1382.21	1011.83
2011	1437.91	1404.62	1410.78	1445.13	1408.15								

