



CONAMA

Comisión Nacional del Medio Ambiente

**APLICACION DE ANALISIS DEL
CICLO DE VIDA (ACV) PARA
EVALUAR IMPACTOS AMBIENTALES
DE BIOCOMBUSTIBLES EN CHILE**

Estudio de escenarios prospectivos asociados a la introducción en Chile de biocombustibles en comparación con escenarios actuales de producción de combustibles de origen fósil

Documento elaborado por:

PRICEWATERHOUSECOOPERS 

Informe Final

OFICINA DE PARTES - FIA	
RECEPCIONADO	
Fecha	21 NOV. 2007
Hora	18:05
Nº Ingreso	3628

DOCUMENTO ELABORADO POR:

Sustainable Business Solutions
PricewaterhouseCoopers (PwC) - Chile.

CONTRATO PROYECTO: N° 24-26-019/06, entre la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y PricewaterhouseCoopers.

En colaboración con un comité técnico conformado por representantes de:

Comisión Nacional de Energía (CNE)
Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)
Fundación para la Innovación Agraria (FIA)
Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)

Informe Final

Fecha: Santiago de Chile, Octubre 2007.

CONTENIDO

SECCION I – RESUMEN EJECUTIVO	1
SECCION II – INTRODUCCIÓN Y DEFINICIÓN DEL OBJETIVO	9
1 INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	9
2 OBJETIVO DEL ESTUDIO	10
SECCION III – ALCANCE Y METODOLOGÍA	11
3 PRINCIPIOS Y ETAPAS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)	11
3.1 Principios y terminología del ACV	11
3.2 Etapas de un ACV	12
3.3 Limitaciones de la metodología ACV	13
4 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS	14
4.1 Etanol	14
4.2 Biodiesel	14
4.3 Combustibles Fósiles	15
5 FUNCIONES DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS Y UNIDAD FUNCIONAL	16
6 LÍMITES DE LOS SISTEMAS	17
6.1 Esquema general del estudio	17
6.2 Criterios de corte	18
6.2.1 Criterios de corte para inputs de materiales y energía	18
6.2.2 Criterios de corte para residuos	18
6.2.3 Criterio de corte para sub-productos	18
6.3 Etapas del Ciclo de Vida excluidas del análisis	19
6.3.1 Etapa de construcción	19
6.3.2 Actividades humanas	19
6.4 Reglas de asignación	20
6.4.1 Recomendaciones de la serie de normas ISO 14.040	20
6.4.2 Aplicación al presente estudio de ACV	20
7 CATEGORÍA Y CALIDAD DE LOS DATOS UTILIZADOS	22
7.1 Categoría de los datos	22
7.1.1 Flujos elementales	22
7.1.2 Flujos de productos intermedios	23
7.1.3 Indicadores de energía	23
7.2 Calidad de los datos	24
8 REVISIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE TRABAJO	25
9 HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILIZADA	26
10 FLUJOS E INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL ESTUDIADOS	27
10.1 Flujos ambientales e indicadores energéticos	27
10.2 Indicadores de impacto ambiental	27
10.3 Impactos ambientales a considerar en Etapa Agrícola	28

SECCION IV – ANÁLISIS DEL INVENTARIO	29
11 ETAPA AGRÍCOLA	29
11.1 Principales hipótesis de trabajo	29
11.1.1 Tipos de cultivos	29
11.1.2 Residuos	30
11.1.3 Consumo de agua	30
11.1.4 Transporte de granos	30
11.2 Proceso de recopilación de los datos	31
11.2.1 Consumo de energía	31
11.2.2 Consumo de agua	31
11.2.3 Fertilizantes y pesticidas	32
11.2.4 Residuos	32
11.2.5 Emisiones	32
11.3 Fuentes de datos utilizados	33
11.4 Presentación de los datos	34
11.4.1 Consumo y distribución de energía	36
11.4.2 Consumo y transporte de fertilizantes y pesticidas	38
11.4.3 Fabricación y transporte de semillas	41
11.4.4 Principales emisiones consideradas	41
11.5 Calidad de los datos	44
12 PRODUCCIÓN DE ETANOL	45
12.1 Principales hipótesis de trabajo	45
12.1.1 Tecnología	45
12.1.2 Ubicación y tamaño de las plantas	45
12.1.3 Consumo de agua	45
12.1.4 Residuos	46
12.1.5 Utilización de DDGS	46
12.1.6 Criterios de corte para inputs de materiales	46
12.1.7 Transporte de etanol	46
12.2 Proceso de recopilación de los datos	47
12.3 Fuente de datos utilizados	48
12.4 Presentación de los datos	49
12.4.1 Etapas de producción de etanol	50
12.4.2 Generación etanol y sub-productos	50
12.4.3 Consumo de agua, energía e Insumos	51
12.4.4 Principales emisiones consideradas	52
12.5 Calidad de los datos	52
13 PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	53
13.1 Principales hipótesis de trabajo	53
13.1.1 Tecnología	53
13.1.2 Ubicación y tamaño de las plantas	53
13.1.3 Consumo de agua	53
13.1.4 Residuos	53
13.1.5 Utilización torta de raps	54
13.1.6 Utilización de glicerina	54
13.1.7 Transporte de biodiesel	55
13.2 Fuente de datos utilizados	56
13.3 Presentación de los datos	57
13.3.1 Etapas de producción de biodiesel	57
13.3.2 Generación biodiesel y sub-productos	58
13.3.3 Consumo de agua, energía e insumos	59
13.3.4 Principales emisiones consideradas	59
13.4 Calidad de los datos	60
14 PRODUCCIÓN DE GASOLINA Y DIESEL	61

14.1	Principales hipótesis de trabajo	61
14.1.1	Ubicación	61
14.1.2	Aspectos tecnológicos y tamaño	61
14.1.3	Descripción del sistema	62
14.1.4	Reglas de asignación	62
14.2	Proceso de recopilación de los datos	64
14.3	Fuentes desglosadas de los datos por tipo	64
14.4	Presentación de los datos	66
14.4.1	Extracción del crudo	66
14.4.2	Principales consumos y emisiones	68
14.5	Calidad de los datos	68
15	USO FINAL DE LOS COMBUSTIBLES ESTUDIADOS	69
15.1	Proceso de recopilación de los datos	69
15.2	Fuente de datos utilizados	69
15.2.1	Etanol	69
15.2.2	Biodiesel	70
15.2.3	Centro de mezcla	72
15.3	Presentación de los datos	72
15.3.1	Etanol	72
15.3.2	Biodiesel	73
15.4	Calidad de los datos	73
16	PRODUCCIÓN ELECTRICIDAD, GAS NATURAL Y MODELO DE TRANSPORTE	74
16.1	Producción de electricidad en Chile	74
16.2	Producción de gas natural	75
16.3	Transporte	75
	SECCION V – INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL	76
17	CONTRIBUCIÓN AL EFECTO INVERNADERO (100 AÑOS), GEI, EN GR. EQ CO ₂	77
17.1	Etanol de Trigo	77
17.2	Etanol de Maíz	78
17.3	Biodiesel de Raps	79
18	ACIDIFICACIÓN DEL AIRE, EN GR. EQ H ⁺	80
18.1	Etanol Trigo	80
18.2	Etanol Maíz	81
18.3	Biodiesel de Raps	82
19	CONTAMINACIÓN FOTOQUÍMICA, EN GR. EQ ETILENO	83
19.1	Etanol Trigo	83
19.2	Etanol Maíz	84
19.3	Biodiesel Raps	85
20	EUTROFIZACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, EN GR. EQ PO ₄	86
20.1	Etanol Trigo	86
20.2	Etanol Maíz	87
20.3	Biodiesel de Raps	88
21	TOXICIDAD HUMANA, EN GR. EQ, 1,4-DCB	89
21.1	Etanol Trigo	89

21.2	Etanol Maíz-----	90
21.3	Biodiesel de Raps -----	91
22	CONSUMO DE AGUA (L) -----	92
22.1	Etanol Trigo-----	92
22.2	Etanol Maíz-----	93
22.3	Biodiesel de Raps -----	93
23	CONSUMO DE ENERGÍA NO RENOVABLE (MJ) -----	94
23.1	Etanol Trigo-----	94
23.2	Etanol Maíz-----	95
23.3	Biodiesel de Raps -----	95
24	GENERACIÓN DE RESIDUOS (KG) -----	96
24.1	Etanol Trigo-----	96
24.2	Etanol Maíz-----	97
24.3	Biodiesel de Raps -----	97
25	ANÁLISIS DE SENSIBILIDADES -----	98
25.1	Indicadores de impacto ambiental E100 / B100 -----	99
25.1.1	Efecto invernadero-----	99
25.1.2	Acidificación del aire -----	101
25.1.3	Contaminación fotoquímica -----	102
25.1.4	Eutrofización de las aguas-----	104
25.1.5	Toxicidad humana -----	105
25.1.6	Consumo de agua -----	107
25.1.7	Consumo de energía no renovable-----	108
25.1.8	Generación de residuos-----	110
25.2	Fijación de carbono (C) en el suelo durante la etapa agrícola -----	112
25.3	Reducción de insumos en la etapa agrícola-----	113
25.4	Raps, cambio de tipo de cultivo a cero labranza -----	114
25.5	Reducción de la quema de rastrojos-----	115
25.6	Importación de biodiesel de soya-----	116
25.7	Cálculo emisiones CO ₂ por hectárea cultivada-----	116
	SECCION VI – CONCLUSIONES-----	118
	SECCION VII – ANEXOS -----	127
26	INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL ESTUDIADOS-----	127
27	BIBLIOGRAFÍA-----	131

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo Límites de un ACV de un producto.....	11
Figura 2. Esquema de los procesos implicados en el ACV.....	17
Figura 3. Esquema ACV granos de maíz VII Región, labranza tradicional.	34
Figura 4. Esquema ACV granos de trigo VIII Región. Secano interior, labranza tradicional.	35
Figura 5. Esquema ACV granos de raps IX Región. Precordillera, labranza tradicional.	35
Figura 6. Esquema ACV granos de raps IX Región. Precordillera, cero labranza.....	36
Figura 7. Origen de Fertilizantes y Pesticidas considerados en el estudio.....	40
Figura 8. Esquema ACV Planta etanol de maíz.	49
Figura 9. Esquema ACV Planta etanol de trigo.....	49
Figura 10. Esquema ACV Planta biodiesel de raps.....	57
Figura 11. Proceso tipo para la refinación de crudo.	62
Figura 12. Proceso tipo para la extracción de crudo.	66
Figura 13. Participación combustibles en la generación de electricidad en Chile, año 2005.	74
Figura 14. Esquemmatización de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de trigo vs gasolina 93.....	120
Figura 15. Esquemmatización de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de maíz vs gasolina 93.....	120
Figura 16. Esquemmatización de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de biodiesel de raps vs diesel A.....	120

Índice de Tablas

Tabla 1. Reglas de asignación para los sub-productos considerados en el estudio.	21
Tabla 2. Flujos ambientales e indicadores energéticos.	27
Tabla 3. Indicadores de impacto ambiental.	27
Tabla 4. Impactos ambientales a considerar en Etapa Agrícola y su inclusión en el ACV.	28
Tabla 5. Principales interlocutores contactados durante el ICV.	31
Tabla 6. Etapa Agrícola: Principales <i>Inputs</i> – Datos Primarios.	33
Tabla 7. Etapa Agrícola: Principales <i>Outputs</i> – Datos Primarios.	33
Tabla 8. Datos secundarios utilizados para la etapa agrícola.	33
Tabla 9. Energía utilizada durante cultivo de maíz VII Región, labranza tradicional.	36
Tabla 10. Energía utilizada durante cultivo de trigo VIII Región, labranza tradicional.	37
Tabla 11. Energía utilizada durante cultivo de raps IX Región, labranza tradicional.	37
Tabla 12. Energía utilizada durante cultivo de raps IX Región, cero labranza.	37
Tabla 13. Consumo de Fertilizantes.	38
Tabla 14. Porcentaje de N, P y K por fertilizante.	38
Tabla 15. Consumo de productos fitosanitarios por tipo de cultivo.	39
Tabla 16. Sustancias activas de los productos fitosanitarios utilizados.	39
Tabla 17. Distancias consideradas en transporte de insumos desde el extranjero.	40
Tabla 18. Ciudades representativas por sistema productivo.	41
Tabla 19. Tasa de volatilización por tipo de fertilizante.	41
Tabla 20. Principales interlocutores contactados durante el ICV.	47
Tabla 21. Etapa Transformación: Principales <i>Inputs</i> – Datos Primarios.	48
Tabla 22. Etapa Transformación: Principales <i>Outputs</i> – Datos Primarios.	48
Tabla 23. Datos secundarios utilizados para la etapa transformación.	48
Tabla 24. Rendimientos por tonelada de materia prima.	50
Tabla 25. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos.	51
Tabla 26. Requerimientos de insumos para la producción de etanol.	51
Tabla 27. Distancias consideradas en transporte de insumos para producción de etanol.	52
Tabla 28. Principales interlocutores contactados durante el ICV.	55
Tabla 29. Etapa Transformación: Principales <i>Inputs</i> – Datos Primarios.	56
Tabla 30. Etapa Transformación: Principales <i>Outputs</i> – Datos Primarios.	56
Tabla 31. Datos secundarios utilizados durante la etapa transformación.	56
Tabla 32. Rendimientos por tonelada de materia prima.	58
Tabla 33. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos.	58
Tabla 34. Requerimientos de insumos para la producción de biodiesel.	59
Tabla 35. Distancias consideradas en transporte de insumos para producción de etanol.	59
Tabla 36. Cantidades y contenidos energéticos por productos para la refinería de Aconcagua.	63
Tabla 37. Cantidades y contenidos energéticos por productos para la refinería de Bío Bío.	64
Tabla 38. Principales <i>Inputs</i> – Datos Primarios.	65
Tabla 39. Principales <i>Outputs</i> – Datos Primarios.	65
Tabla 40. Datos secundarios utilizados durante la Producción Combustibles Fósiles.	65
Tabla 41. Procedencia del petróleo crudo comprado por ENAP durante el año 2006.	67
Tabla 42. Características de los combustibles considerados en el estudio IDIADA en comparación con la normativa chilena.	70
Tabla 43. Características del camión utilizado para mediciones de biodiesel.	71
Tabla 44. Características del combustible base en comparación con la normativa chilena.	71
Tabla 45. Emisiones medidas y estimadas para combustión de etanol y gasolina.	72
Tabla 46. Emisiones medidas y estimadas para combustión de biodiesel y diesel.	73
Tabla 47. Generación Bruta de Electricidad en Chile, durante el año 2005.	74
Tabla 48. Emisiones de CO ₂ por ha cultivada estimadas a través de software TEAM.	117
Tabla 49. Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de trigo vs gasolina 93.	119
Tabla 50. Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de maíz vs gasolina 93.	119
Tabla 51. Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de biodiesel de raps vs diesel A.	119
Tabla 52. Variación porcentual mezcla 2 y 5 % en relación a combustibles fósiles 100%.	124

Lista de Acrónimos

3CV - Centro de Control y Certificación Vehicular
ACV – Análisis del Ciclo de Vida
ANAC - Asociación Nacional Automotriz de Chile
APME - *Association of Plastics Manufacturers in Europe*
CIEMAT – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
CIREN - Centro de Información de Recursos Naturales
CNE – Comisión Nacional de Energía
CONAMA – Comisión Nacional del Medio Ambiente
CORPEN – *Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l' Environnement*
DDGS – *Dry Distiller Grains Stillage*
DEAM - *Database for Environmental Analysis and Management*
DQO - Demanda Química de Oxígeno
ECOTOC - *European Center for Ecotoxicology and Toxicology*
ENAP – Empresa Nacional del Petróleo
ETH - *Eidgenössische Technische Hochschule*
FEDNA - Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal
FIA - Fundación para la Innovación Agraria
GEI - Gases de efecto Invernadero
IANSÁ – Industria Azucarera Nacional Sociedad Anónima
ICV - Inventario del Ciclo de Vida
IDIADA - Instituto de Investigación Aplicada del Automóvil (España)
INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
ISO - *International Organization for Standardization*
NREL - *National Renewable Energy Laboratory (USA)*
ODEPA – Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
PwC - PricewaterhouseCoopers
RILES - Residuos Industriales Líquidos
SAG - Servicio Agrícola y Ganadero
SAEFL - *Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape*
SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*
SEIA - Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SOFO – Sociedad de Fomento Agrícola de Temuco
TEAM – *Tools for Environmental Analysis and Management*
UFRO – Universidad de la Frontera
UTFSM – Universidad Técnica Federico Santa María

SECCION I – Resumen Ejecutivo

El estudio “APLICACIÓN DE ANALISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) PARA EVALUAR IMPACTOS AMBIENTALES DE BIOCOMBUSTIBLES EN CHILE” que aquí se presenta, tuvo como objetivo comparar los indicadores de impactos ambientales de un número limitado de escenarios asociados a la introducción en Chile de biocombustibles con escenarios actuales que consideran la producción de combustibles de origen fósil, mediante el uso de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El ACV es una herramienta de gestión ambiental reconocida internacionalmente – Norma ISO 14.040 – y utilizada para identificar de forma objetiva y rigurosa los impactos medioambientales de un producto, proceso o actividad desde la “cuna hasta la tumba”.

Un Análisis de Ciclo de Vida se define como la compilación y evaluación de todos los flujos de entrada (*inputs*) y salida (*outputs*), y los potenciales impactos ambientales asociados a un sistema de productos a lo largo de su ciclo de vida (ISO 14.040). Sus delimitaciones dependerán del nivel de conocimientos de un producto y de todas las etapas relacionadas a su manejo, entre las cuales destacan las etapas de producción y extracción de materias primas, generación de productos intermedios, transporte, distribución, uso, y etapa de disposición final, que incluye a menudo trayectorias paralelas como reciclaje, incineración, o disposición en rellenos sanitarios, entre otros

De esta manera, los objetivos específicos del estudio fueron caracterizar los indicadores de impactos ambientales asociados al uso de los biocombustibles bajo los escenarios considerados, y analizar las implicancias de los resultados considerando la totalidad de la cadena de producción de los biocombustibles.

El presente estudio se dividió en 7 secciones y 28 capítulos que aportan información relevante para el análisis de las conclusiones. La sección II indica el contexto y objetivos del estudio y la sección III el alcance y la metodología empleada. Posteriormente (sección IV), se detalla la construcción del inventario en cada una de las etapas consideradas, para, en la sección V, señalar los indicadores de impacto ambiental, su interpretación y análisis de sensibilidad. Finalmente en las secciones VI y VII se presentan las conclusiones del estudio y se anexa material de apoyo.

Los biocombustibles considerados en el estudio fueron: **Etanol** y **Biodiesel** mientras que los combustibles fósiles considerados fueron **Gasolina 93 octanos (E0)** y **Diesel A (B0)**. Los porcentajes de mezcla analizados para los biocombustibles con combustibles tradicionales fueron de **2%** (E2, B2) y **5%** (E5, B5).

Los diferentes indicadores de impactos ambientales estudiados se presentan en el capítulo 10 del presente informe y son los siguientes:

- Efecto invernadero.
- Acidificación del aire.
- Contaminación fotoquímica.
- Eutrofización de las aguas.
- Toxicidad humana.
- Generación de residuos.
- Consumo de energía no renovable.
- Consumo Agua.

Dichos indicadores fueron calculados para un mismo servicio, en este caso la unidad funcional seleccionada fue recorrer **un kilómetro** con un vehículo estándar bajo diferentes niveles de incorporación de combustible.

Conforme a lo anterior, se realizó un completo trabajo de recopilación, validación y preparación de datos e información base, desde el cultivo de granos o materias primas hasta su consumo final, y por otro lado, desde la extracción del crudo hasta la combustión de sus principales productos.

Los datos relativos al ACV de la gasolina y del diesel, y también relativos a algunos aspectos de la etapa agrícola, fueron principalmente recopilados a través de cuestionarios.

Este estudio implicó un esfuerzo importante de recopilación de información. La calidad de los datos es esencial para el desarrollo del ACV, por lo cual se recopiló información localmente disponible, se revisaron fichas técnicas agronómicas, se entrevistaron expertos en las diferentes etapas consideradas, y se realizó una completa revisión bibliográfica nacional e internacional.

Posteriormente, para el análisis de los datos se utilizó el software TEAMTM (*Tools for the Environmental Analysis and Management*). Este software fue desarrollado por la empresa francesa *Ecobilan*, perteneciente al departamento de “Soluciones Sustentables de Negocios” de PricewaterhouseCoopers, y permite construir y analizar el ciclo de vida de los productos o de los servicios en conformidad con las normas ISO 14040. TEAMTM constituye una referencia a nivel internacional en materia de herramienta informática para este tipo de estudio

Una vez calculados los indicadores de impactos ambientales, a partir de los resultados del Inventario de Ciclo de Vida, se procedió a la interpretación de los datos obtenidos donde se determinaron hallazgos, conclusiones y recomendaciones.

Etapas consideradas

Etapas Cultivo:

Los cultivos estudiados fueron: maíz y trigo para la generación de etanol, y raps para la generación de Biodiesel. Para los dos primero, se acordó acotar a un sistema productivo más representativo en base a la ubicación de los centros de cultivo.

De acuerdo al estudio de Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), se propuso lo siguiente:

- Para maíz, se consideraron los cultivos de la VII Región por ser la Región que presenta la mayor superficie cultivada y cercana a grandes centros de consumo, lugar que coincide con el estudio de la UTFSM.
- Para trigo, se consideraron los cultivos de secano del valle central de la VIII Región, debido a que la gran mayoría de la superficie cultivable de trigo proviene de la VIII y IX Región y que sus capacidades de superficies máximas son de 90.000 y 120.000 ha respectivamente. Se optó por la VIII Región debido a la información disponible en las fichas técnicas del estudio de la UTFSM.

Para el biodiesel se consideraron los siguientes sistemas productivos, siguiendo el estudio de la UTFSM:

- Raps precordillera IX Región.
- Raps precordillera IX Región con cero labranza.

Se ha considerado que la demanda de cereales permanece constante y que la instalación de plantas productoras de etanol y biodiesel produce una demanda adicional al consumo alimenticio, no alterando el desarrollo de la producción de cereales para consumo humano. Para esto se consideraron tierras que antes eran dejadas en descanso, y puestas ahora en cultivo, y de esta manera, a tierras que no tenían asociadas cargas ambientales, se les asociaron los principales impactos ambientales de dicho cambio de uso.

Para esta etapa se recopiló información respecto a las características de los sistemas productivos seleccionados (energía, combustible, fertilizantes, pesticidas, consumo de agua, emisiones y residuos generados). Para tales efectos, se consultó y/o envió un cuestionario desglosado por tipo de cultivo a diferentes expertos nacionales, complementándose con bibliografía nacional e internacional.

Etapa Transformación biocombustibles:

Los sub-productos obtenidos de las etapas de transformación en etanol y biodiesel fueron: a) DDGS (*dry distiller grain stillage*) y torta de raps, las cuales se destinaron para alimentación animal, considerándose como reemplazo de harina de soya; b) Glicerina proveniente de la producción de biodiesel, se consideró como combustible alternativo en un horno cementero, evitando así, el consumo de combustibles fósiles.

Se recopiló información respecto a las características de los sistemas de transformación existentes, los insumos requeridos y los sub-productos generados, así como también las principales emisiones y residuos generados. Es importante destacar que hasta la fecha del presente estudio, no existen plantas de producción de biocombustibles operando en Chile, por lo que la data recopilada se basó en estudios anteriores. Además, la información se complementó a través de información solicitada a diferentes actores con relevancia y conocimiento en el proceso a nivel nacional e internacional.

Etapa Producción combustibles fósiles:

Se consideró la utilización de gasolina 93 octanos y diesel A, para su mezcla con biocombustibles y posterior uso en la ciudad de Santiago. Se asumió como escenario base de comercialización de biocombustibles la ciudad de Santiago por ser una ciudad con altos índices de contaminación y por ser la ciudad donde se concentra la mayor demanda de combustible del país.

Para elaborar el ACV del diesel y de la gasolina consumida en Chile, el presente estudio se basó, en gran parte, en información entregada por la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) e información complementaria proveniente de refinerías europeas de características y tamaño similares.

Etapa Uso de los combustibles:

Para el análisis de la combustión vehicular, se consideraron vehículos estándares para cada tipo de combustible. Se utilizó un vehículo liviano para el análisis de emisiones de etanol + gasolina 93 octanos, y un camión para el caso de las mezclas biodiesel + diesel A.

Para el presente estudio, tanto para el caso del etanol como del biodiesel, se ocupan datos internacionales de mediciones de emisiones asociadas a la combustión de la gasolina y del diesel en un vehículo.

Finalmente, de la recopilación y análisis de los datos, se obtuvieron los siguientes resultados.

Principales Resultados

Para el indicador de **efecto invernadero**, se observó una disminución de las emisiones al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles. La sustancia que contribuye mayoritariamente a este indicador es el CO₂ fósil, cuyas emisiones se concentran en la etapa de combustión. Para el caso del biodiesel de raps, se consideró un desplazamiento de combustibles fósiles (carbón bituminoso) por glicerina (subproducto del proceso de generación de biodiesel) generando una disminución de las emisiones al evitar la producción y quema de dicho combustible fósil. Cabe mencionar que si no se considera dicho desplazamiento, las emisiones de gases de efecto invernadero para el biodiesel de raps siguen siendo menores.

Para el indicador de **acidificación del aire**, existe un aumento de las emisiones al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles. Las sustancias que más contribuyen a este indicador son el dióxido de nitrógeno (NO_x como NO₂) y el dióxido de azufre (SO_x como SO₂) en las etapas agrícolas, de extracción, refinación y combustión, siendo en esta última etapa mayores en el caso del biodiesel comparado con el etanol.

Durante la etapa agrícola, confluyen las emisiones provenientes de la quema de combustibles de las faenas agrícolas y la quema de rastrojos en el campo. Además, durante esta etapa, existen emisiones de amoníaco relacionadas al uso de fertilizantes que contribuyen a la acidificación del aire, siendo el cultivo del trigo el mayor contribuyente de dicho indicador de impacto en comparación con el maíz.

Para la **contaminación fotoquímica** existe una disminución de las emisiones, al utilizar mezclas de biocombustibles de un 2 y 5% respecto a la utilización de combustibles fósiles en un 100%.

Los compuestos considerados fotoquímicos son gases reactivos formados por hidrocarburos, que pueden participar en la formación de smog. Los principales gases son los orgánicos no metano, hidrocarburos no metanos, hidrocarburos no especificados y los totales, y se emiten generalmente durante los procesos de combustión.

Para el indicador mencionado, el mayor contribuyente son las emisiones de hidrocarburos no especificados ocurridas en alrededor de un 84% durante la etapa de combustión en vehículos. Durante la etapa de extracción, existen también emisiones de metano que contribuyen al indicador.

Para el indicador de **eutrofización de las aguas superficiales**, los resultados del ACV indicaron que existe un aumento de las emisiones al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles.

El aumento de la contaminación se aprecia en la etapa agrícola producto de la entrada de fertilizantes, principalmente en base a N y P, provenientes de las faenas propias del cultivo del trigo, maíz y raps.

Para los tres cultivos, se aprecia mayor presencia de nitratos y fosfatos como contribuyentes a este indicador. También se aprecia la influencia de la Demanda Química del Oxígeno (DQO) como factor de contribución.

Para el indicador de **toxicidad humana**, los resultados del ACV indicaron que para Gasolina 93 octanos (E0), y las mezclas E2 y E5, las etapas de extracción y refinación de crudo son las principales contribuyentes a este indicador. La sustancia contaminante que se presenta en mayor cantidad es el níquel, siendo la etapa de refinación del crudo donde más se emite este contaminante.

Durante las etapas de combustión de las gasolinas y también de la etapa de refinación del crudo, se destaca la presencia de emisiones al aire de benceno, siendo menos significativas en el caso de la producción de biodiesel.

Para los escenarios utilización de mezclas de combustibles fósiles con biocombustibles (E2, E5 y B2, B5), el uso de diesel para la maquinaria durante la etapa agrícola y la etapa de extracción de crudo, provoca emisiones de Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C₁₂H₄Cl₄O₂).

Para el indicador **consumo de energía no renovable**, se observó en general, una disminución de sus consumos al utilizar mezclas de biocombustibles en un 2 y 5%, excepto para el caso del trigo. Esto se debe al bajo rendimiento de granos de trigo en la etapa agrícola sumado al alto consumo energético de la producción del etanol vs biodiesel.

Para el indicador **generación de residuos**, existe una mayor generación al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles

Las etapas que más contribuyen a la generación de residuos son las etapas de producción de etanol debido a la utilización de una planta de tratamientos de agua generando lodos. También contribuyen a este indicador las etapas de refinación del crudo y agrícola.

Para el indicador de **consumo de agua**, se observó una disminución de sus consumos al utilizar mezclas de biocombustibles en un 2 y 5% en el caso del etanol de trigo y del biodiesel de raps y un aumento en el caso del etanol de maíz. Las diferencias en el consumo de agua entre los cultivos, se reflejan en que solamente se consideró riego para el maíz.

El consumo de agua de la etapa de transformación del etanol y biodiesel es negativo debido a la consideración de un impacto evitado por la sustitución de harina de soya por DDGS / torta, como alimentación animal.

En resumen, al comparar los indicadores de impactos ambientales de las mezclas de biocombustibles de un 2 y 5% con los escenarios actuales de referencia (combustibles fósiles), se observa que existen resultados que favorecen la introducción de biocombustibles y otros que favorecen los escenarios actuales de uso de combustibles fósiles.

Así entonces, para los indicadores gases de efecto invernadero y contaminación fotoquímica, todos los escenarios de biocombustibles estudiados son más favorables, es decir, existe una disminución global de las emisiones a lo largo del ciclo de vida.

Además, para los indicadores de energía no renovable y agua, se observó en general, una disminución de los consumos al utilizar las mezclas de biocombustibles estudiadas.

Sin embargo, para el caso del cultivo de maíz, se observó un aumento significativo en el consumo del agua debido a que se utilizó como supuesto la aplicación de riego.

Por otro lado, para los indicadores de acidificación del aire, toxicidad humana, eutrofización de las aguas y generación de residuos, se nota que todos los escenarios de biocombustibles estudiados son menos favorables en comparación con escenarios actuales de uso de combustibles fósiles.

A continuación se presentan de manera esquematizada los niveles de impactos de los indicadores considerados ante la utilización de biocombustibles o combustibles fósiles. De esta manera y para los diferentes indicadores, si los impactos ambientales asociados a los biocombustibles son menores (<) a los de los combustibles fósiles, se tratará de un escenario favorable para los biocombustibles, por otro lado, si los impactos ambientales asociados a los biocombustibles son mayores (>) a los combustibles fósiles, se estará en presencia de un escenario favorable a los combustibles fósiles.

Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de trigo vs gasolina 93

Nivel de Impacto				
Indicadores de Impactos	Gases de Efecto Invernadero	mezcla de 5% de etanol	<	gasolina 93 octanos
	Acidificación del Aire		>	
	Contaminación Fotoquímica		<	
	Eutrofización (en agua)		>	
	Toxicidad Humana		>	
	Residuos		>	
	Energía no renovable		>	
	Agua		<	

Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de maíz vs gasolina 93

Nivel de Impacto				
Indicadores de Impactos	Gases de Efecto Invernadero	mezcla de 5% de etanol	<	gasolina 93 octanos
	Acidificación del Aire		>	
	Contaminación Fotoquímica		<	
	Eutrofización (en agua)		>	
	Toxicidad Humana		>	
	Residuos		>	
	Energía no renovable		<	
	Agua		>	

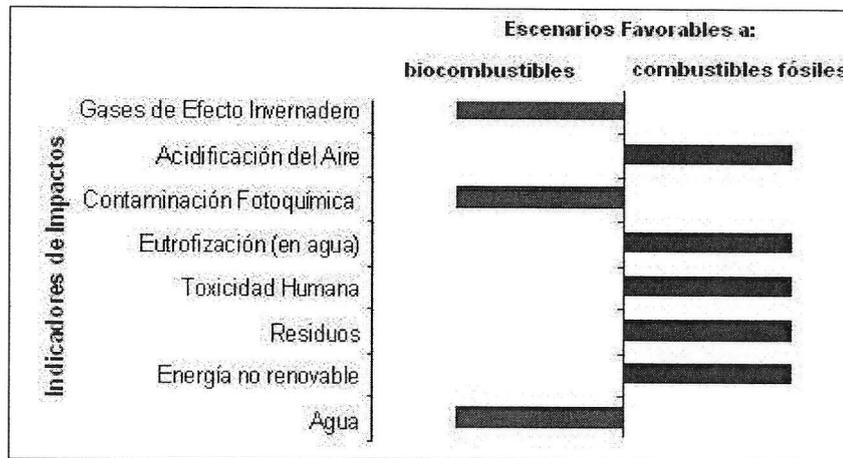
Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de biodiesel de raps vs diesel A

Nivel de Impacto				
Indicadores de Impactos	Gases de Efecto Invernadero	mezcla de 5% de biodiesel	<	diesel A
	Acidificación del Aire		>	
	Contaminación Fotoquímica		<	
	Eutrofización (en agua)		>	
	Toxicidad Humana		>	
	Residuos		>	
	Energía no renovable		<	
	Agua		<	

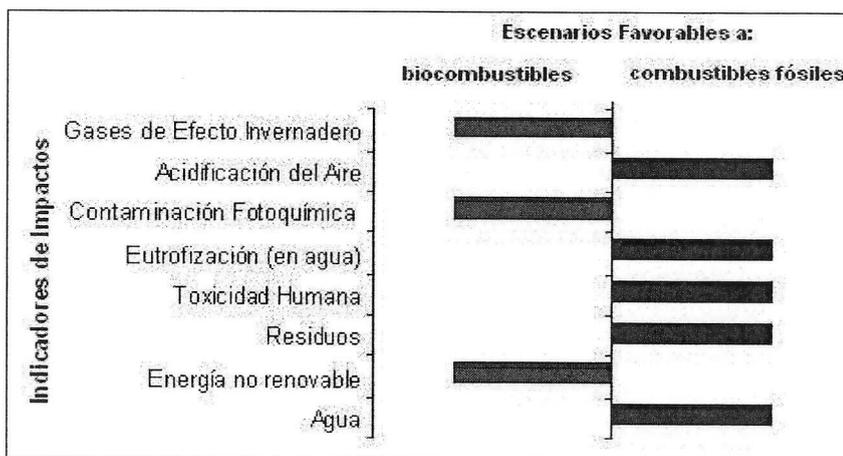
Reforzando el nivel de lectura anterior, a continuación se presentan de manera esquematizada los indicadores de impactos ambientales que resultan favorables ante la utilización de biocombustibles o combustibles fósiles. Así entonces, las barras de color verde representan los indicadores cuyos resultados son favorables al utilizar una mezcla de biocombustibles mientras que las barras en azul representan los indicadores cuyos resultados son favorables al utilizar combustibles fósiles.

Es importante resaltar que los indicadores de impactos ambientales señalados en las siguientes figuras NO jerarquizan los impactos y su orden no representa la importancia relativa de cada uno de ellos.

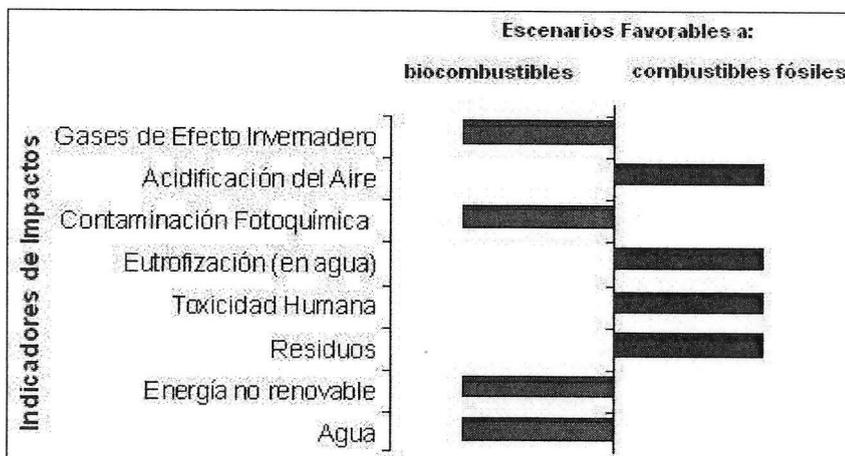
Esquematización de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de trigo vs gasolina 93



Esquematización de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de maíz vs gasolina 93



Esquematación de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de biodiesel de raps vs diesel A



Adicionalmente al análisis detallado de los resultados obtenidos, se realizaron también diferentes análisis de sensibilidad para modelar el comportamiento de los resultados ante algunas hipótesis de trabajo y se simuló la incorporación de E100 y B100, es decir, escenarios que consideran un 100% de uso de biocombustibles.

Para las simulaciones E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%. Sin embargo, cabe mencionar que en el caso del indicador de efecto invernadero, y a diferencia de mezclas menores (2 y 5%), el etanol de trigo (E100) es menos favorable que la gasolina, principalmente a raíz de sus bajos rendimientos en la etapa agrícola y de producción del biocombustible. Al contrario, el biodiesel (B100) resulta ser más favorable en materia de efecto invernadero que el diesel A debido a que las grandes cantidades de glicerina producidas bajo este escenario, y la hipótesis de combustión total en un horno cementero, evita parte de la producción de carbón bituminoso y las emisiones que se desprenden de su combustión.

Por otro lado, al sensibilizar algunos parámetros como carbono fijado en el suelo, disminución en la cantidad de insumos utilizados durante la etapa agrícola o disminución en el porcentaje considerado de quema de rastrojos en la etapa agrícola, se mantuvieron los mismos indicadores de impactos ambientales favorables a los biocombustibles.

A través de la entrega de los diferentes resultados, el presente estudio de Análisis de Ciclo de Vida aporta antecedentes e información cuantificada y sustentada sobre los impactos ambientales asociados al desarrollo de los biocombustibles en Chile, constituyendo uno de los primeros estudios de ACV realizado en el país.

SECCION II – Introducción y definición del objetivo

1 Introducción y Contexto

Chile importa el 72% de la energía que consume¹, por lo mismo, el país se ve envuelto en una situación de vulnerabilidad frente a la volatilidad internacional de precios e interrupciones en el suministro.

Bajo esta situación el Gobierno ha impulsado la formulación de un Plan de Seguridad Energética con miras a diversificar la matriz energética a través del desarrollo de alternativas que le permitan al país reducir su dependencia de combustibles fósiles. El Programa de Gobierno 2006-2010 de la Presidenta de Chile, Sra. Michelle Bachelet, establece como meta que un 15% del aumento de generación eléctrica al Bicentenario (2010) se logre con energías renovables no convencionales, como eólica, biomasa o hidráulica de pequeña escala.

En este contexto, la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), en conjunto con la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y la Comisión Nacional de Energía (CNE) realizan un aporte al estudio de las posibilidades de inclusión de biocombustibles en la matriz energética chilena a través del análisis de las implicancias ambientales que tendrían diversas alternativas de introducción de biocombustibles en el país.

En este tema, las instituciones gubernamentales involucradas, necesitan disponer de información clara, cuantificada y fiable sobre los impactos ambientales asociados a cada uno de los diferentes escenarios posibles para este proyecto. En efecto, el medio ambiente es afectado por la cadena de actividades que recorre desde la generación de biocombustibles hasta su consumo final. Las actividades asociadas a disponer de la materia prima usada para generar biocombustibles, su producción, transporte y consumo final plantean desafíos respecto a sus impactos, tanto positivos como negativos, en distintos medios: aire, agua y suelo.

A través de la aplicación de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el presente estudio busca analizar indicadores de impactos ambientales comparativos entre distintos escenarios asociados a la introducción al país de biocombustibles y los escenarios actuales, que consideran el uso de combustibles fósiles, desde la generación del biocombustible y combustible fósil hasta su consumo final.

El ACV es una herramienta que provee un análisis cuantitativo y científico de los impactos ambientales de los productos y de sus sistemas industriales asociados. Al proveer información cuantificada sobre toda la cadena de producción, el ACV ha demostrado que la realidad de los impactos de las alternativas supuestamente más “amigables” con el medio ambiente es en general mucho más compleja de lo que uno podría pensar.

En materia de ACV, existen estándares por lo que se trata de una metodología validada y compartida por los diferentes actores involucrados. Entre los puntos clave destacados por estos estándares, se menciona la necesidad de explicar y clarificar las hipótesis de trabajo y fuentes de datos en un esfuerzo de transparencia, por lo cual el presente estudio describe las principales hipótesis de trabajo.

¹ Ministra de Energía, Karen Ponichik, en Seminario 6tas. Jornadas de Derecho Eléctrico: Políticas Públicas y Energía: Seguridad energética, un tema clave para el país. 22 de Agosto de 2006

2 Objetivo del estudio

CONAMA y FIA, en conjunto con ODEPA y CNE contrataron a PricewaterhouseCoopers para comparar los indicadores de impactos ambientales de un número limitado de escenarios asociados a la introducción en Chile de biocombustibles con escenarios actuales que consideran la producción de combustibles de origen fósil, mediante el uso de la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida.

El mandante determinó también objetivos específicos al presente estudio con el fin de asegurar la calidad y la comparabilidad de los resultados entregados:

- Aplicar la herramienta ACV, de acuerdo a las directrices de la serie de normas del sistema ISO 14040, con el fin de contar con una evaluación que sirva para caracterizar los indicadores de impactos ambientales esperables asociados a cada uno de los escenarios previamente definidos, durante todo el ciclo de vida del producto.
- Analizar las implicancias de los resultados obtenidos de la aplicación de la herramienta ACV (siguiendo el estándar de la familia ISO 14040) en la introducción en Chile de biocombustibles.
- Considerar la totalidad de la cadena de producción de los biocombustibles, desde el cultivo hasta su consumo final, y de los combustibles fósiles, desde la extracción hasta su consumo final.

SECCION III – Alcance y Metodología

3 Principios y etapas del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

3.1 Principios y terminología del ACV

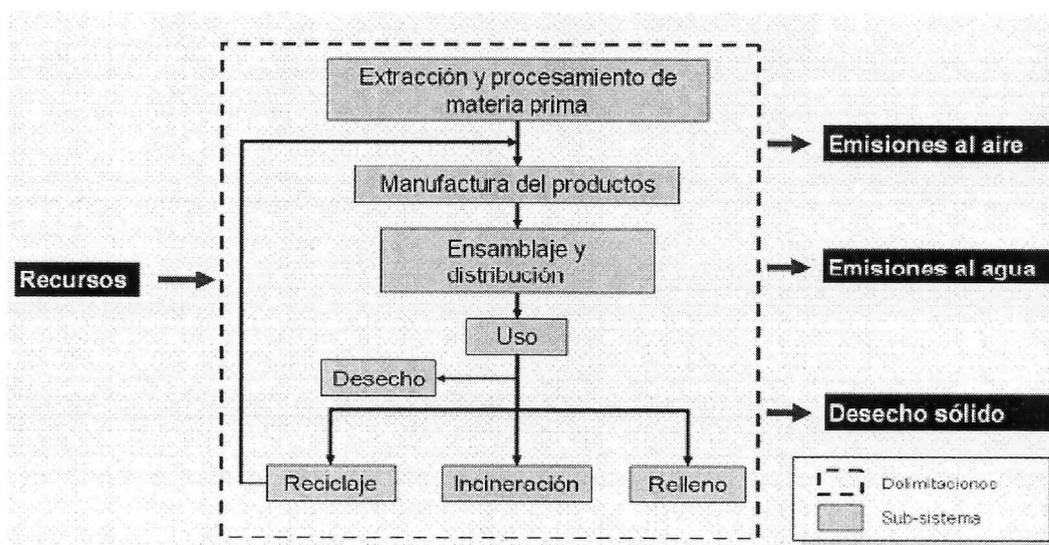
El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) estudia los impactos potenciales ambientales durante la vida de un producto desde la adquisición de la materia prima hasta la producción, uso y disposición final.

Una manera de homogenizar la información es estandarizar el procedimiento de análisis para poder comparar productos o servicios bajo una misma mirada. Así entonces, bajo la Norma ISO 14.040² se estandariza el ACV como una herramienta de gestión ambiental reconocida internacionalmente y utilizada para identificar de forma objetiva y rigurosa los impactos medioambientales de un producto, proceso o actividad desde la “cuna hasta la tumba”.

El ACV se define como la compilación y evaluación de todos los flujos de entrada (*inputs*) y salida (*outputs*), y los potenciales impactos ambientales asociados a un sistema de productos a lo largo de su ciclo de vida (ISO 14.040).

La delimitación del ACV depende del nivel de conocimientos de un producto y de todas las etapas relacionadas a su manejo, entre las cuales destacan las etapas de producción y extracción de materias primas, generación de productos intermedios, transporte, distribución, uso, y etapa de disposición final, que incluye a menudo trayectorias paralelas como reciclaje, incineración, o disposición en rellenos sanitarios, entre otros. Este principio general para ampliar los límites del sistema se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. Ejemplo Límites de un ACV de un producto



Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

2 14.040: Principios y marco de trabajo
14.044: Exigencias y líneas directrices

El presente estudio se basa en las recomendaciones y lineamiento de la serie de Norma ISO 14.040 sobre Análisis Ciclo de Vida (ACV), utilizando las etapas propuestas y considerando sus limitaciones, sin embargo, no contempla una revisión metodológica de una tercera parte independiente como se sugiere en la normativa ISO.

3.2 Etapas de un ACV

Como se mencionó anteriormente, una manera de homogenizar la información es estandarizar el procedimiento de análisis para poder comparar productos o servicios bajo una misma mirada. Así entonces, la ejecución de estudios bajo esta metodología normalizada ISO 14.040 nos permite evaluar los aspectos e impactos potenciales ambientales asociados con un producto mediante la ejecución de tres etapas principales: el Inventario de Ciclo de Vida (recopilación y cálculo de los entrantes y salidas del ciclo de vida del producto, en este caso biocombustible), el Cálculo de los indicadores de Impactos y la Interpretación de los resultados.

Esta metodología permitirá

- El *Inventario del Ciclo de Vida (ICV)* del biocombustible consiste en la modelización del sistema de la vida del biocombustible y de sus variantes en función de los diferentes escenarios a estudiar, incluyendo el cultivo de sus materias primas, su producción, su utilización, su fin de vida y considerando las respectivas etapas de transporte. El ICV requiere un acucioso trabajo de recopilación de los datos e información de base, su validación y su preparación para su integración en el ACV. Dada la característica prospectiva de un estudio de este tipo, es necesario que no sólo se usen datos locales sino que también han de complementarse con datos relacionados al Ciclo de Vida de biocombustibles en otros países.
- El *Cálculo de los indicadores de impactos* a partir de los resultados del Inventario de Ciclo de Vida. En acuerdo con las expectativas de las diferentes partes interesadas en el estudio, los resultados detallados del ICV son clasificados, caracterizados, normalizados y agregados con la finalidad de calcular para cada uno de los escenarios y sus variantes indicadores claves de impactos (por ejemplo: acidificación del aire, efecto invernadero entre otros).
- Finalmente, la *Interpretación de los resultados* consiste en la fase de análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios, tanto individualmente como en forma comparativa entre ellos. El análisis individual permite identificar y cuantificar la contribución de cada una de las etapas del ciclo de vida a los indicadores de impactos ambientales previamente definidos y el análisis comparativo permite, para cada una de las etapas del ciclo de vida, comparar el desempeño de los escenarios estudiados. La interpretación del estudio se suele orientar en función de los objetivos específicos de cada una de las partes interesadas en el estudio, con la finalidad de aportar antecedentes claros, cuantificados y confiables para apoyar las decisiones. La interpretación de los resultados contempla generalmente análisis de sensibilidad para los parámetros claves, estudiando variaciones a los escenarios estudiados.

3.3 Limitaciones de la metodología ACV

Es importante mencionar que la metodología de ACV es indiferente entre tiempo y espacio. Es así como, en la presentación de los resultados, los impactos locales y globales se consideran de manera conjunta, por tratarse de un ACV desde la cuna a la tumba.

Otro aspecto relevante, es mencionar el hecho de que la metodología ACV no discrimina entre una contaminación crónica y aguda puesto que en la agregación de flujos, no contempla la duración de la emisión (gr/h) ni el volumen de disolución de la emisión de agua (gr/m³).

Además, cabe recordar que no se reflejan impactos cuando no hay datos. Este punto es muy importante puesto que no se puede asociar un indicador de impacto a un dato inexistente, por lo que no se refleja ningún impacto ambiental en el caso de no registrarse como *input*, cosa que puede no ser real. Esto se debe a que datos faltantes no son ingresados a la matriz de cálculo, generándose resultados únicamente con los valores ingresados y las correlaciones indicadas. Es así como el proceso de recopilación de datos o inventario es fundamental, puesto que la omisión o falta de ellos, generará resultados incompletos y no reflejarán los impactos reales asociados a un producto.

De esta manera y a modo de ejemplo, si no se poseen los datos de cantidad de petróleo utilizados para producir un kilogramo de cemento, al realizar el ACV de este producto, no se asociará ningún indicador ambiental a la combustión del petróleo ocurrida en los hornos de clinker, no cuantificando así, la contribución de dicha combustión al indicador efecto invernadero.

4 Descripción de los sistemas estudiados

El estudio consideró la producción y uso de etanol y biodiesel a partir de diferentes sistemas productivos tradicionales en Chile. A su vez, se consideró la mezcla de dichos biocombustibles con combustibles fósiles y se comparó también con el escenario actual de producción y uso de gasolina y diesel, utilizados en el sistema de transporte nacional.

4.1 Etanol

- Para la generación de etanol se consideraron los sistemas productivos: maíz de grano VII Región y trigo seco interior VIII Región.
- Uso: mezclas del 2% y 5%. No se consideró un escenario con la incorporación del 10% porque involucraría un aumento en la superficie agrícola actual, de acuerdo a las conclusiones de un estudio anterior³.
- El sub-producto⁴ considerado en el ACV fue el DDGS de maíz y de trigo (*Dry Distiller Grains Stillage*), producto proteico que sustituye alimentación animal (bovino). Se consideró como reemplazo de harina de soya, evitando la generación de impactos asociados a la producción de tal harina (mayores referencias ver sub capítulo 6.4.2).

4.2 Biodiesel

- Para la generación de biodiesel se consideraron los sistemas productivos: raps IX labranza tradicional y raps IX cero labranza.
- Uso: mezclas del 2% y 5%. No se consideró un escenario con la incorporación del 10% porque involucraría un aumento en la superficie agrícola actual, de acuerdo a las conclusiones de un estudio anterior⁵.
- Los sub productos considerados en el ACV son:
 - Torta seca: producto proteico que sustituye alimentación animal (bovino). Se consideró como reemplazo de harina de soya, evitando la generación de impactos asociados a la producción de tal harina (mayores referencias ver sub capítulo ver 6.4.2).
 - Glicerina. Respecto a la utilización de la glicerina como sub-producto de la generación de biodiesel, se consideró su quema en un horno cementero y la sustitución de carbón bituminoso como combustible fósil, evitando los impactos ambientales generados de su extracción y quema.

En el caso del ACV del biodiesel en Chile, se incorporó un escenario adicional que consideró la importación de biodiesel de soya desde el paso fronterizo Los Libertadores, que une Argentina y Chile. Este biodiesel será llevado y mezclado en Santiago con diesel A en un 2 y 5%. Este escenario se evaluó debido a la factibilidad de importación de biocombustibles a Chile desde países productores que, bajo una economía de mercado abierto, pudiesen comercializar sus productos a precios competitivos para la realidad nacional.

En este escenario se consideraron las etapas de transporte del biodiesel (desde el paso fronterizo Los Libertadores, que une Argentina y Chile), y su uso (combustión) en el

³ y ⁵ Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales. UTFSM, marzo 2007.

⁴ De acuerdo con el comité técnico, para la producción de etanol en Chile, no se consideró el CO₂ como un subproducto valorizable sino como una emisión directa al aire.

territorio nacional, dejando fuera de los límites del estudio los impactos asociados a la producción y transporte de granos, generación de aceite y transformación a biodiesel ocurridos en Argentina.

Entendemos que para un análisis completo de ACV, de acuerdo a las recomendaciones de la norma ISO 14.040, deberían considerarse todos los impactos desde la "Cuna a la Tumba" de un producto, sin embargo, se acotó este escenario como ejercicio teórico únicamente con el fin de comparar el impacto final de importar biocombustibles a Chile. Además, resulta compleja la recopilación de datos de los sistemas agrícolas y productivos específicos a cada país.

Dicho escenario estará analizado dentro del análisis de sensibilidad del estudio (ver capítulo 25).

4.3 Combustibles Fósiles

Los combustibles fósiles considerados son gasolina 93 octanos sin plomo, por ser la más comercializada y representativa en el país, y diesel A por ser el diesel que ENAP comercializará en todo el país para el año 2010, fecha cercana a la potencial utilización de biocombustibles en el país. Cabe mencionar, que conforme al cumplimiento del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA), a partir de julio de 2004 ENAP comenzó a comercializar Diesel Ciudad Plus, con tan solo 50 ppm de azufre, produciéndose en la actualidad 438.487 m³/año.

5 Funciones de los sistemas estudiados y Unidad Funcional

Los indicadores de impactos ambientales están calculados por un mismo servicio: la unidad funcional, la cual se define como “la cuantificación de las funciones identificadas del producto”.

Por ejemplo, comparar diferentes tipos de botellas de leche (vidrio, cartón, plástico, etc.) se debería hacer en la siguiente base:

- Función: empacar leche.
- Unidad funcional: empacar un litro de leche.

La unidad funcional permite agregar flujos de datos provenientes de diferentes fuentes y también permite futuras comparaciones entre los datos de la empresa en el tiempo o con otras empresas similares. Así por ejemplo, empacar un litro de leche durante el segundo semestre del año 2006 al interior de una empresa de lácteos, implicará conocer y cuantificar recursos y energía utilizados en diferentes líneas productivas de dicho año, lo cual podrá compararse con la producción de otros años o con las de empresas similares, y así medir el rendimiento del sistema o componente en comparación con algún parámetro de referencia.

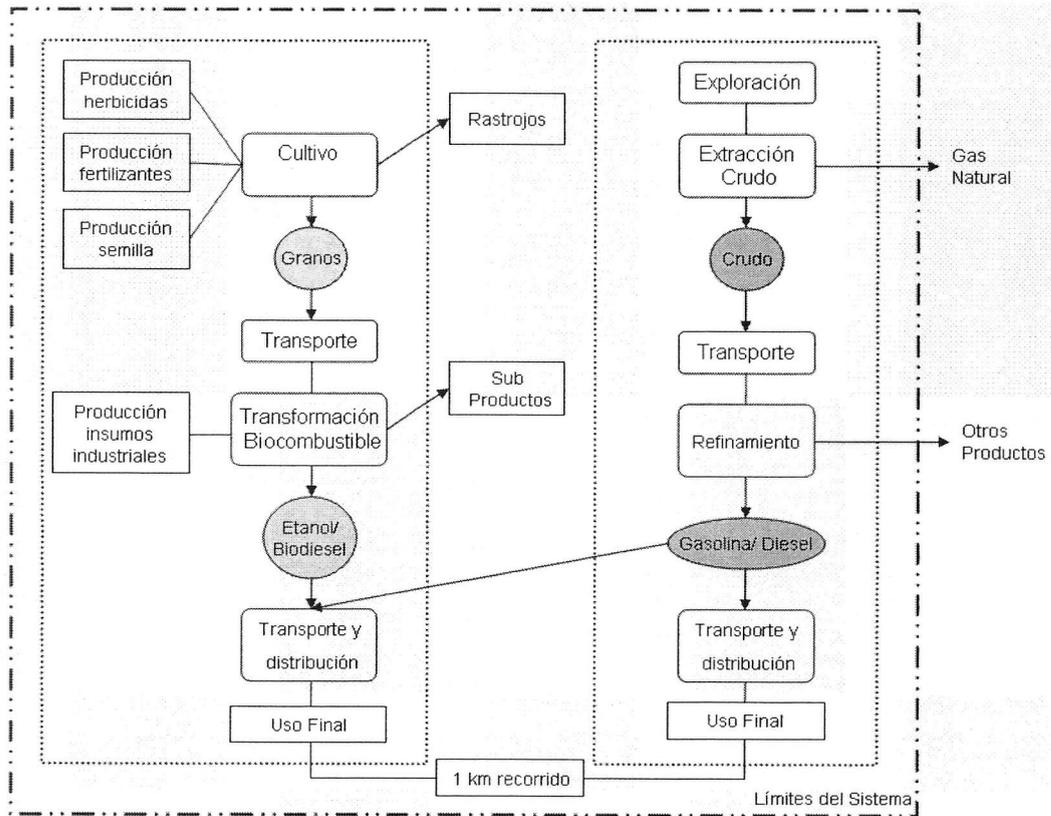
La unidad funcional seleccionada para este estudio es **recorrer un kilómetro** con un vehículo estándar bajo diferentes niveles de incorporación de combustible: gasolina y diesel; y mezclas de 2 y 5% con biocombustibles (etanol para el caso de la gasolina 93 octanos y biodiesel para diesel A).

6 Límites de los sistemas

6.1 Esquema general del estudio

A continuación se presenta un esquema general de ciclo de vida de los biocombustibles estudiados (etanol de trigo, maíz; biodiesel de raps) y su paralelo con el ciclo de vida de los combustibles fósiles.

Figura 2. Esquema de los procesos implicados en el ACV



Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.



Representa los límites del sistema, por lo que todo flujo que se ubique por fuera no es incluido en el análisis.



Representa los límites de los sub-sistemas a estudiar. Su análisis incluye los flujos de entrada y de salida.

Como está presentado en el esquema, el sistema incluye los procesos involucrados en la producción de biocombustibles y combustibles fósiles: agricultura, extracción de crudo y refinación, producción de etanol y biodiesel, los transportes y la combustión del producto final, incluyendo las instalaciones auxiliares tales como planta de tratamiento de agua y generación de energía.

6.2 Criterios de corte

Los criterios de corte han sido definidos en el proyecto para la selección de materiales y procesos a incluir dentro del sistema estudiado.

6.2.1 Criterios de corte para inputs de materiales y energía

De acuerdo a las recomendaciones de la norma ISO 14.040, en el presente estudio, se ocupó un criterio de corte por masa para las entradas de materiales. No existe regla definida en relación al criterio de corte por masa dado que el porcentaje a definir se debe adecuar a la realidad de cada caso. Para el presente estudio, se acordó ocupar un criterio de corte del 98% por masa, lo que significa que la producción del 98% de los mayores *inputs* ha sido incluida en el sistema. Así por ejemplo, en el caso de la producción de etanol no se consideraron los *inputs*: levadura, alfanilasa, glucomilasa, por presentarse en cantidades despreciables para el sistema.

Sin embargo, cabe mencionar que en caso de existir información disponible para un porcentaje mínimo del material consumido, su producción si se consideró en el sistema. Además, la producción de todos los *inputs* relacionados a la energía se consideraron en el estudio.

6.2.2 Criterios de corte para residuos

En el presente estudio se consideraron los principales residuos para cada etapa del proceso, sin embargo, para aquellas etapas donde se reciclan materiales (etapa agrícola por ejemplo), no se consideró su disposición final. No se consideraron tampoco las emisiones derivadas de rellenos sanitarios que reciben residuos provenientes de las plantas de producción de biocombustibles y combustibles fósiles ni las del transporte asociado.

6.2.3 Criterio de corte para sub-productos

El transporte y/o tratamiento de los sub-productos provenientes de la etapa de producción de biocombustibles han sido considerados en este estudio:

- DDGS y torta de raps están destinados a la alimentación animal y se consideran como reemplazo de harina de soya, evitando la generación de impactos asociados a la producción de tal harina.
- CO₂ producido durante la etapa de fermentación (producción de etanol) se integró como una emisión de CO₂ biomasa al aire.
- Glicerina proveniente de la producción de biodiesel, se consideró su quema en un horno cementero y la sustitución de carbón bituminoso como combustible fósil, evitando la generación de impactos asociados a la extracción y quema del carbón.

Haber tomado en cuenta otros sub-productos menores, tales como, aceites, químicos y aguas recuperadas a través de ciclos cerrados, así como vapores re circulantes para uso industrial o energía renovable para autoconsumo, habría llevado al sistema a una complejidad mayor.

Dicha información se deberá considerar en la medida que los datos estén disponibles en base a diseños finales de procesos a considerar a nivel nacional.

6.3 Etapas del Ciclo de Vida excluidas del análisis

6.3.1 Etapa de construcción

No se incorporan en el presente ACV los impactos ambientales derivados de la etapa de construcción de plantas de biocombustibles y/o centros de acopio, infraestructuras necesarias para la extracción y refinación del crudo y medios de transporte, así como tampoco la fabricación de las maquinarias asociadas a alguna de las etapas consideradas en el estudio (camiones, barcos, entre otras) porque su contribución al balance global es muy pequeña, menos de un 1% de acuerdo a la literatura. En efecto, según estudios internacionales, los impactos ambientales asociados a la etapa de construcción se consideran marginales dado que se trata de un evento único y puntual. Sin embargo, es importante precisar que se entiende que cualquier construcción asociada al marco del desarrollo de los biocombustibles en Chile deberá respetar el marco legal vigente.

Respecto a la normativa ambiental vigente, es importante resaltar que el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, establece las disposiciones por las cuales se rige el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), conforme a la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. El artículo 3 de dicho reglamento, señala todos los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al SEIA, sin embargo, la producción de biocombustibles y las construcciones asociadas no se ajustan a ninguna de las clasificaciones mencionadas en dicho artículo, por lo que deberá asociarse a alguna de las categorías existentes o incorporarse en una actualización del reglamento.

En la actualidad no existen plantas de Biodiesel operando en Chile, sin embargo, se ha constatado la presencia de industrias procesadoras de alimento o productos químicos que fabrican Biodiesel de manera demostrativa o con fines de investigación.

A modo de ejemplo, al realizar una búsqueda en el sistema electrónico del SEIA (www.e-seia.cl) se aprecia que solamente existe un proyecto de producción de Biodiesel en estado de "calificación", ingresando su Declaración de Impacto Ambiental (DIA) el 23 de Marzo del 2007, y cuyo titular es la empresa Biodiesel Chile Ltda. Dicho proyecto consiste en una planta de producción de Biodiesel a partir de grasas y aceites vegetales usados, generados en procesos de frituras en diversas instalaciones de preparación de alimentos. Es interesante resaltar que el proyecto ingresó al sistema bajo la tipología: o.8. Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales sólidos, por ser una transformación de aceites de recupero provenientes del rubro expendio de alimentos.

Como se mencionó, no existe una tipología de proyectos asociados a la producción de biodiesel o etanol, por lo que deberá ajustarse a alguna de las categorías ya existentes o realizarse una actualización del reglamento. De esta manera, el proyecto mencionado de Biodiesel Chile Ltda., aplicaría bajo la tipología que abarca los denominados "proyectos de saneamiento ambiental", a que se refieren los artículos y letras de los cuerpos legales mencionados.

6.3.2 Actividades humanas

Se asume también, que la línea base de la elaboración de biocombustibles conlleva actividad humana (locomoción, generación de residuos, etc.) la cual no se consideró en el ACV debido a que ésta se generaría con o sin proyecto.

6.4 Reglas de asignación

6.4.1 Recomendaciones de la serie de normas ISO 14.040

Los sistemas industriales estudiados son muchas veces multi-productos, sin embargo, son únicamente los consumos de recursos y emisiones asociados a la unidad funcional seleccionada los que deben ser considerados en el estudio de ACV. En esta materia, la norma ISO 14.044 recomienda varias conclusiones jerarquizadas de la siguiente manera:

- 1) Evitar asignaciones:
 - Recopilar los datos a un nivel más detallado con el objetivo de seguir específicamente las etapas relativas al producto estudiado.
 - Extender las fronteras de los sistemas a los cuales el sistema que genera los sub productos es comparado con el objetivo de incluir alternativas que tienen las mismas funciones que los sub productos.
- 2) Cuando 1) no es factible, es aconsejable repartir los flujos entre los sub productos con la ayuda de una regla de imputación que refleja las relaciones existentes entre los flujos y los sub productos.
- 3) Cuando 2) no es posible, es aconsejable repartir los flujos entre los sub productos con la ayuda de una regla de imputación que puede ser másica, energética o económica.

6.4.2 Aplicación al presente estudio de ACV

El principio de extensión de la frontera del sistema es basado en la generación de un impacto evitado por parte del sub producto dado que viene a reemplazar otro producto con una función equivalente (por ejemplo, el DDGS de maíz y/o trigo permite evitar producción de harina de soya). El sistema extendido incluye por consiguiente el proceso de recuperación del sub producto y la ruta del producto que está reemplazado por el sub-producto.

En la práctica, el inventario de las operaciones evitadas por la producción de los sub productos es sustraído al inventario del etanol o del biodiesel.

Tabla 1. Reglas de asignación para los sub-productos considerados en el estudio.

Sub-Producto	Ruta del producto reemplazado	Función	Regla de asignación	Datos ocupados
Etanol Trigo / Maíz				
DDGS de maíz / trigo	Harina de soya producida en Argentina (provincia Mendoza)	Alimentación bovino	Extensión del sistema considerando los contenidos nutricionales equivalentes	Producción harina de soya en base a Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, Final Report, May 1998 Transporte por camión (ETH, 1996)
Biodiesel de raps				
Torta de raps	Harina de soya producida en Argentina (provincia Mendoza)	Alimentación bovino	Extensión del sistema considerando los contenidos nutricionales equivalentes	Producción harina de soya en base a Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, Final Report, May 1998 Transporte por camión (ETH, 1996)
Glicerina	Producción de carbón y su combustión (únicamente CO ₂)	Quema en un horno cementero por su poder calorífico	Extensión del sistema considerando los poderes caloríficos equivalentes	Producción y combustión del carbón, Ecoinvent 2004
Combustibles fósiles				
Varios sub productos provenientes del proceso de refinación	-	-	Asignación energética (con los poderes caloríficos)	-

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

7 Categoría y Calidad de los datos utilizados

7.1 Categoría de los datos

En un Análisis de Ciclo de Vida, existen flujos elementales, intermedios e indicadores energéticos.

7.1.1 Flujos elementales

Como *input*, un flujo elemental es un flujo de materia o energía que entra al sistema en estudio y que ha sido extraída o tomada del ambiente sin transformación antrópica previa. Como *output*, un flujo elemental representa un flujo de materia o energía que sale del sistema en estudio y que se descarga en el ambiente, sin posterior transformación antrópica.

Flujos elementales pueden ser:

- Consumo de recursos.
- Emisiones al aire.
- Descargas de agua.
- Emisiones al suelo.

Ejemplo de flujos elementales que ingresan al sistema son el petróleo crudo y la radiación solar, dentro de los que salen se encuentran las emisiones al aire, al agua y las radiaciones.

En cuanto a las emisiones de CO₂ se consultó por el alcance de su medición dentro del proyecto. Al respecto se aclaró que las emisiones de CO₂ se dividen en origen fósil y biomasa. Las primeras se consideraron como emisiones evitadas o desplazadas por quema de combustible renovable, y las segundas se consideraron neutras debido a que liberan a la atmósfera el carbono que, por fotosíntesis, las plantas fijaron anteriormente, generando un ciclo de liberación y captura a través de la biomasa.

7.1.2 Flujos de productos intermedios

Un producto intermedio es un *input* o un *output* de un proceso unitario que requiere una posterior transformación.

Productos intermedios pueden ser:

- Energía y consumibles.
- Productos y sub-productos.
- Residuos.

Ejemplos de flujos de productos intermedios son los materiales básicos y productos semi elaborados.

7.1.3 Indicadores de energía

Además de los *inputs/outputs* físicos calculados para un ACV, se pueden calcular indicadores de energía. Dichos indicadores permiten medir el desempeño energético de los sistemas estudiados.

La energía primaria total puede estar dividida en energía no renovable y energía renovable por una parte, y también en energía combustible y energía materia (*feedstock*) por otra parte.

Energía primaria total	= Energía no renovable + Energía renovable
	= Energía combustible + Energía contenida en la materia

- La energía primaria total representa la suma de todas las fuentes de energía que son directamente extraídas de los recursos naturales tales como gas natural, petróleo, carbón, biomasa y energía hidráulica.
- La energía no renovable incluye todas las fuentes de energía primarias fósiles y minerales, como por ejemplo gas natural, petróleo y carbón.
- La energía renovable incluye todas las otras fuentes de energía primaria, mayoritariamente energía hidráulica.
- La energía combustible corresponde a la parte de la energía primaria que es consumida por los procesos en el sistema estudiado (por ejemplo, la combustión de gas natural).
- La energía contenida en la materia corresponde a la parte de la energía primaria contenida en los materiales entrando en el sistema y no utilizados como combustibles y puestos a disposición (uso final).

La energía renovable del tipo solar, eólica, energía contenida en el suelo no están contabilizadas en el presente estudio. Esta decisión metodológica se justifica puesto que el *stock* antes y después del proceso de producción queda igual a escala humana.

Por tales motivos, en el presente estudio, se presenta únicamente como indicador de energía, el consumo de energía no renovable: gas y petróleo (en base a la información obtenida).

7.2 Calidad de los datos

Este estudio implicó un esfuerzo importante de recopilación de información a nivel bibliográfico y acerca de varios actores a nivel nacional. Dicha etapa de recopilación es fundamental para asegurar la calidad de los datos analizados pero está siempre sujeta a la disponibilidad de los diferentes actores consultados, a la existencia de información y a los tiempos del estudio.

Los datos relativos al ACV de la gasolina y del diesel, y también relativos a algunos aspectos de la etapa agrícola, fueron principalmente recopilados a través de cuestionarios.

Otras fuentes de datos utilizadas en el presente estudio fueron módulos de producción *upstream* de petróleo o de transporte en base a camiones y barco. Estas fuentes de datos adicionales incluyen:

- Base de datos DEAM⁶ de Ecobilan.
- Base de datos Ecoinvent.

Dado el grado incipiente de desarrollo de la cadena de producción de biocombustibles en Chile, los datos relacionados a la producción del etanol y biodiesel y de las emisiones de los vehículos fueron recopilados principalmente en base a antecedentes bibliográficos.

- Cobertura geográfica: en el caso del consumo de insumos agrícolas, de las prácticas agrícolas, de las distancias de transporte y de la producción de diesel y gasolina en Chile se ocuparon datos nacionales.
- Cobertura temporal: la mayoría de los datos nacionales son del año 2006 o provienen de estudios recientes y en relación a los datos internacionales, éstos son recientes o han sido actualizados el año 2004 para muchos de ellos.
- Cobertura tecnológica: los datos deben representar una tecnología promedio, por lo que la selección de los procesos tecnológicos, aun no existentes en Chile, se realizó en acuerdo con el comité técnico y fue basada en estudios nacionales realizados previamente.

Además, los datos considerados fueron analizados de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Precisión: medida de la variabilidad de los valores de datos para categoría de datos expresada.
- Completitud: porcentaje de locaciones que informan datos primarios del número potencial en existencia para cada categoría de datos en proceso unitario.
- Representatividad: evaluación cualitativa del grado en que el conjunto de datos refleja la verdadera población de interés.
- Consistencia: evaluación cualitativa de cuán uniformemente se aplica la metodología de estudio a los varios componentes del análisis.
- Reproducibilidad: evaluación cualitativa de la extensión en que la información sobre la metodología y los valores de los datos permiten que un analista independiente reproduzca los resultados informados en el estudio.

⁶ DEAMTM: Database for Environmental Analysis and Management

8 Revisión de las hipótesis de trabajo

Con el fin de contar con una revisión crítica de las diferentes hipótesis de trabajo y la metodología utilizada, el mandante en relación con PwC conformó un comité técnico compuesto por un integrante de los siguientes organismos de gobierno: CONAMA, FIA, ODEPA y CNE. Durante el proyecto, dicho comité técnico se reunió cada 2 semanas. Adicionalmente, se definieron reuniones mensuales con un comité ampliado, en base a los mismos organismos de gobierno, con el fin de compartir los resultados y avances del presente estudio.

La principal función del comité técnico fue validar las hipótesis de trabajo tales como:

- Definición de cada uno de los escenarios estudiados.
- Definición del perímetro estudiado.
- Selección de los indicadores / impactos considerados en el estudio.
- Revisión de los datos utilizados de estudios previos / bibliografía / recopilación de datos en terreno.
- Selección de parámetros para análisis de sensibilidad.

El comité técnico representó también un apoyo para el consultor en la etapa de recopilación de los datos y de identificación de los contactos pertinentes en terreno.

Además, se han llevado a cabo reuniones con diferentes partes interesadas (organismos gubernamentales y no gubernamentales, industriales y universitarios principalmente), con el fin de:

- Presentar el contexto, objetivos generales y específicos del presente estudio.
- Dar respuesta a inquietudes por parte de los actores participantes y trabajar en función a sus comentarios y retroalimentación de la información presentada.

En particular, se llevaron a cabo reuniones con representantes de las siguientes organizaciones: Chile Sustentable, Empresas IANSA, UFRO, SOFO, OLEOTOP y ENAP, y también con el Comité público privado de bioenergía.

A parte de este proceso, cabe mencionar que el presente estudio consideró los recientes estudios referentes al desarrollo de los biocombustibles en Chile como una fuente primaria de información, los cuales se transformaron en parte de los antecedentes bibliográficos consultados. Uno de los estudios fue: "Evaluación Socioeconómica y Balance Energético de la Cadena Productiva desde la Producción de Materia Prima hasta la Elaboración de Biodiesel y Etanol en Chile, a partir de los Cultivos Agrícolas Tradicionales", de la Universidad Técnica Federico Santa María (febrero 2007). Dicho estudio cuenta con información referente a: Tipo de cultivos considerados, Balances energéticos, Potencial ubicación de las plantas de producción, Modo de producción considerado para etanol y biodiesel, entre otros.

9 Herramienta informática utilizada

Para el presente estudio se utilizó el software TEAM TM (*Tools for the Environmental Analysis and Management*) como herramienta de Análisis de Ciclo de Vida.

Este software fue desarrollado por la empresa francesa *Ecobilan*, perteneciente al departamento de “Soluciones Sustentables de Negocios” de PricewaterhouseCoopers, y permite construir y analizar el ciclo de vida de los productos o de los servicios en conformidad con las normas ISO 14040. TEAM TM constituye una referencia a nivel internacional en materia de herramienta informática para este tipo de estudio y ha sido utilizado en muchas empresas, universidades y centros de investigación, lo que demuestra su capacidad y pertinencia para realizar este tipo de trabajo.

El software permite:

- Crear diferentes espacios de trabajo (Subdivisión del ciclo de vida en subsistemas).
- Construir y calcular inventarios.
- Calcular los indicadores de impactos medioambientales.

10 Flujos e indicadores de impacto ambiental estudiados

Los siguientes flujos e indicadores de impacto ambiental han sido seleccionados en acuerdo con el mandante en base a las categorías de impacto consideradas en este tipo de estudio, y en base a los requerimientos del mandante basados en algunas problemáticas ambientales específicas a la realidad nacional.

10.1 Flujos ambientales e indicadores energéticos

Tabla 2. Flujos ambientales e indicadores energéticos.

Flujo	Unidad
Consumo Agua	Litros
Consumo de energía no renovable	MJ (mega joules)
Generación de residuos	Kilogramos

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

10.2 Indicadores de impacto ambiental

La siguiente tabla señala los indicadores de impacto ambiental estudiados, así como también el medio donde se presenta mayor impacto y el método de cálculo considerado en el ACV (ver lista completa de Indicadores considerados en anexo 26).

Tabla 3. Indicadores de impacto ambiental.

Indicador	Medio	Método de cálculo
Efecto invernadero a 100 años Este indicador toma en cuenta las emisiones de CO ₂ fósil, de N ₂ O (emisiones provenientes por ejemplo de la combustión del petróleo diesel y del gas natural) y de las emisiones de CH ₄ (provenientes por ejemplo de la fermentación del papel en los basureros). Sin embargo, este indicador no toma en cuenta las emisiones de CO ₂ biomasa, proveniente por ejemplo de la combustión del papel en un incinerador. El efecto invernadero está presentado en kg eq CO ₂ .	Aire	IPCC (1998) kg eq. CO ₂
Acidificación del aire Este indicador caracteriza desde las emisiones de NO _x , SO _x , HCl, entre otras. El aumento de la cantidad de substancias ácidas en la baja atmósfera, originando lluvias ácidas y degradación de ciertos bosques. La acidificación del aire está presentada en gr. eq H ⁺ .	Aire	Universidad de Leiden gr. eq H ⁺ .
Contaminación fotoquímica Bajo ciertas condiciones climáticas, las emisiones atmosféricas de las industrias y del transporte pueden producir un smog fotoquímico (en reacción con los fotones solares). Una sucesión de reacciones, involucrando compuestos orgánicos volátiles con los NO _x , puede producir la formación de ozono, un compuesto oxidante. Su medición es en gr. eq de etileno.	Aire	World Meteorological Organization gr. eq de etileno
Eutrofización de las aguas La eutrofización de un medio natural se caracteriza por la introducción de nutrientes bajo la forma de compuestos con nitrógeno y fosfatos por ejemplo, que lleva a la proliferación de algas. Su medición es en gr. eq de fosfatos.	Agua	Universidad de Leiden gr. eq de fosfatos
Toxicidad humana Las emisiones de contaminantes atmosféricos tales como las partículas del aire o como los SO _x y NO _x tienen un impacto en la toxicidad humana (mortalidad, enfermedades). Para las partículas, este impacto depende de su tamaño. Su medición es en gr. eq. 1,4-DCB.	Ser Humano	Universidad de Leiden gr. eq. 1,4-DCB

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

10.3 Impactos ambientales a considerar en Etapa Agrícola

La siguiente tabla señala los impactos ambientales considerados en el estudio y su inclusión en el análisis de ciclo de vida.

Tabla 4. Impactos ambientales a considerar en Etapa Agrícola y su inclusión en el ACV.

Productos	Medio	Explicaciones del impacto	Indicador de impacto
Fitosanitarios	Aire	Parte muy pequeña, muy difícil de evaluar.	No
	Suelo	Degradación por los microorganismos.	No
	Agua	Cuando las moléculas ya no pueden ser captadas por los microorganismos, depende de la solubilidad y duración de vida.	Toxicidad humana
Fertilizantes nitrogenados	Aire	Emisiones atmosféricas de N ₂ O y NH ₃ dependiendo de condiciones climáticas locales, tipo de suelo, tipo de aplicación.	Efecto invernadero, acidificación del aire
	Suelo	No es un impacto ambiental negativo.	No
	Agua	Lixiviación en las aguas (NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻) cuando los aportes son superiores a las necesidades de la planta o efectuados en momentos inadecuados. Niveles dependen de tipo de suelo, cultivo, etc.	Eutrofización
Fertilizantes fosfatados	Aire	No hay.	No
	Suelo	No es un impacto ambiental negativo.	No
	Agua	Internacionalmente, hay riesgos de fuga dependiendo del tipo de suelo. Los fosfatos son captados por partículas del suelo y pueden ser evacuadas en aguas superficiales dependiendo de la sensibilidad del suelo a la erosión. Si hay fuertes lluvias, en este tipo de suelo, las partículas de P se van a encontrar en aguas superficiales.	No

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

SECCION IV – Análisis del Inventario

11 Etapa Agrícola

11.1 Principales hipótesis de trabajo

11.1.1 Tipos de cultivos

El presente estudio consideró la utilización de cultivos tradicionales más representativos y con mayor potencial de desarrollo en Chile para la generación de biocombustibles, según superficie cultivada actual y potencial, así como también por rendimientos obtenidos. Mayores referencias se encuentran en el estudio “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales” de la UTFSM.

Los sistemas productivos considerados para producción de etanol:

- Maíz, se consideraron los cultivos regados de la VII Región por ser la Región que presenta la mayor superficie cultivada y cercana a grandes centros de consumo, lugar que coincide con el estudio de la UTFSM.
- Trigo, se consideraron los cultivos de secano del valle central de la VIII Región, debido a que la gran mayoría de la superficie cultivable de trigo proviene de la VIII y IX Región y que sus capacidades de superficies máximas son de 90.000 y 120.000 ha respectivamente. Se optó por la VIII Región debido a la información disponible en las fichas técnicas del estudio de la UTFSM.

Los sistemas productivos considerados para producción de biodiesel:

- Raps precordillera IX Región, secano.
- Raps precordillera IX Región con cero labranza, secano.

Estos cultivos se escogieron de manera de representar las tres principales regiones productoras del país, y así, basándonos en el modo de producción actual de dichos cultivos, modelar los impactos asociados. Cabe destacar que este análisis se puede realizar para cultivos en diferentes regiones o en la misma Región, utilizándose los sistemas mencionados por ser representativos de la realidad del agro nacional y por poseer data suficiente que permitió modelar sus impactos.

Se ha considerado que la demanda de cereales permanece constante y que la instalación de plantas productoras de etanol y biodiesel produce una demanda adicional al consumo alimenticio, es decir, la demanda adicional de cereales para fines energéticos NO alterará el desarrollo de la producción de cereales para consumo humano ya existente. Para esto, el escenario base utilizado en este estudio para la etapa agrícola fue considerar tierras que antes eran dejadas en descanso (barbecho), y puestas ahora en cultivo, de esta manera, a tierras que no tenían asociadas cargas ambientales, se les asociaron los principales impactos ambientales de dicho cambio de uso.

Por otro lado, no se contemplaron los cultivos transgénicos para la producción de biocombustibles en Chile. Una normativa específica en Chile respecto a transgénicos se encuentra en una Resolución del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) sobre Normas y Regulación de Liberación de Transgénicos. Según este decreto, sólo se autoriza en Chile la entrada de semillas transgénicas para multiplicación con fines de exportación. No se permite liberación de transgénicos para consumo.

11.1.2 Residuos

Respecto a los residuos de campo, se consideraron dos supuestos. El primero tiene relación con los residuos sólidos producto de la aplicación de fertilizantes, pesticidas y labores propias del campo. Para ésto se supuso que todos los residuos generados son reutilizados dentro de las mismas labores del campo, de esta manera su vida útil queda fuera de las fronteras del estudio por extenderse más allá de los plazos tradicionales. Así por ejemplo, un neumático viejo es reutilizado como recuperador de suelos o un tambor que contiene fertilizantes es lavado tres veces (según lo recomendado por las Buenas Prácticas Agrícolas) y reciclado por una empresa especializada. Los residuos restantes son considerados menores, por lo tanto, no se consideraron en el análisis de ciclo de vida del presente estudio.

El segundo supuesto respecto a los residuos, tiene que ver con los rastrojos que quedan en el campo. En relación a eso, se supuso generalizar una práctica común en los campos Chilenos, y es considerar la quema agrícola como medio de destrucción de tales residuos. A modo de referencia, la cantidad de rastrojos que queda en campo según tipo de cultivo es aproximadamente:

- Trigo: 10 Ton/ha (Edmundo Acevedo H. y Paola Silva C. Sistema de Labranza y Sustentabilidad Agrícola en cultivos anuales. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile).
- Maíz: 20 Ton/ha (Héctor Manterola B. y Jorge Mira J. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 222 p.).
- Raps: 2,4 Ton/ha (Contacto personal con experto nacional, empresa OLEOTOP).

11.1.3 Consumo de agua

Para el caso del raps y trigo se consideraron sistemas productivos en secano, por lo que no se consideró riego en el ACV.

Para el caso del maíz en la VII Región se consideró un sistema de riego tradicional, con una demanda anual de agua de 10.000 m³ /ha. Se consideró tal cantidad de agua como agua de riego dadas las escasas precipitaciones durante la etapa de crecimiento del cultivo. No se consideró tratamiento previo del agua utilizada para dichos fines (fuentes superficiales).

11.1.4 Transporte de granos

Una vez realizada la cosecha, se consideró un traslado de granos, de los distintos sistemas productivos, a centros de acopio ubicados en las mismas plantas de producción, y de esta manera asegurar la homogeneidad y calidad de la materia prima (supuesto acordado con productores de la zona sur del país y el comité técnico).

Para el transporte entre el campo y los centros de acopio se consideró una distancia promedio de 50 kilómetros.

Se asumió un transporte terrestre, vía camiones funcionando con diesel (mayores referencias ver capítulo 16 de Producción Electricidad, Gas Natural y Modelo de transporte).

11.2 Proceso de recopilación de los datos

Para la recopilación de información, se elaboraron cuestionarios específicos para cada una de las etapas del estudio, los cuales fueron enviados a los principales actores relevantes, por tema, en el país. Por otro lado, se revisaron publicaciones nacionales e internacionales relacionadas a cada una de las etapas. En la Sección VII, capítulo 27 del presente estudio se presenta el detalle de la bibliografía y sitios web considerados durante el estudio.

Para la etapa agrícola se recopiló información respecto a las características de los sistemas productivos seleccionados (energía, combustible, fertilizantes, pesticidas, consumo de agua, emisiones y residuos generados). Para tales efectos, se consultó y/o se envió un cuestionario desglosado por tipo de cultivo a los actores identificados en la Tabla 5 y se revisó bibliografía nacional e internacional.

Tabla 5. Principales interlocutores contactados durante el ICV.

Tema	Nombre Interlocutor	Institución
ETAPA AGRICOLA		
Etapa Agrícola, manejo y contaminación suelos y en general contaminación agrícola	Edmundo Acevedo	Universidad de Chile
Emisiones aire, agua y suelo de productos Fitosanitarios	Graciela Palma	UFRO
Emisiones aire, agua y suelo de productos Fertilizantes	Marta Alfaro	Centro Regional de Investigación Remehue
Contaminación suelo, aire, aguas	Dante Pinochet	Universidad Austral. Director Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos
	Ximena Acuña Gerardo Reyes / Guillermo Zamora	CIREN
	Claudio Pérez / María Inés González	INIA de la Octava Región
	Manuel Hormazabal	SAG
Insumos y transporte asociado a etapa Agrícola en cultivos	Manuel Riesco	SOFO

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

11.2.1 Consumo de energía

Para conocer el consumo de energía de los cultivos seleccionados, se utilizaron las fichas técnicas del cultivo de maíz VII Región, trigo seco interior VIII Región y raps IX Región labranza tradicional y cero labranza generadas por el estudio "Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales" de la UTFSM.

11.2.2 Consumo de agua

La información respecto a los consumos de agua fue obtenida del estudio de la UTFSM y de entrevistas con el Ingeniero Agrónomo Rodrigo Ortega.

11.2.3 Fertilizantes y pesticidas

Para conocer las cantidades de fertilizantes y pesticidas utilizados, se utilizaron las fichas técnicas del cultivo de maíz VII Región, trigo secano interior VIII Región y raps IX Región labranza tradicional y cero labranza generadas por el estudio “Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales” de la UTFSM.

Respecto a la procedencia de los fertilizantes utilizados en los sistemas productivos seleccionados, se realizaron entrevistas telefónicas con la Dra. Marta Alfaro del INIA Remehue, y el profesor Alejandro León de la Universidad de Chile. En cuanto al país de procedencia de los pesticidas, se utilizó la base de datos de Plaguicidas autorizados al 2007 elaborada por el Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SAG).

11.2.4 Residuos

Respecto a los residuos generados en campo, como ya se mencionó, se utilizó el supuesto de que la totalidad de los residuos generados son reciclados, por lo que no existiría un impacto asociado. Se aplicó este supuesto por no existir datos cuantitativos y en base a conversaciones con expertos del tema. Entre los consultados está la empresa AFIPA A.G. quienes reciclan los envases plásticos de los residuos de pesticidas aplicados durante la etapa agrícola.

11.2.5 Emisiones

Respecto a las emisiones al aire, se revisó la existencia de *papers* nacionales a través de Internet y revistas científicas (Revista Agro-Ciencia publicada por las Facultades de Agronomía, Ingeniería Agrícola y Medicina Veterinaria de la Universidad de Concepción), además, se les envió el cuestionario a actores claves en dichos temas, quienes coincidieron en que no existen estudios realizados en Chile que aporten información completa respecto a las emisiones al aire de los productos fitosanitarios y fertilizantes indicados en el estudio.

A nivel internacional, existen metodologías para medir las emisiones al aire de los fertilizantes nitrogenados consideradas en el presente estudio, sin embargo, las emisiones al aire de los productos fitosanitarios no se consideran en este tipo de ACV dado que es una parte muy pequeña y difícil de evaluar.

Finalmente, para estimar las emisiones al agua de los fertilizantes y pesticidas, se conversó con actores nacionales claves en el tema y se revisaron diferentes publicaciones, no encontrándose datos específicos para los sistemas productivos seleccionados. Dentro de los *papers* revisados se mencionan: 2006. Marta Alfaro, Francisco Salazar. *Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soil as affected by the source of fertiliser*. INIA Remehue, Osorno, Chile; 2005. Marta Alfaro, Francisco Salazar. Pérdidas de N por arrastre y lixiviación bajo dos cargas animales en sistemas de producción de carne en el sur de Chile. INIA Remehue, Osorno, Chile; Marta Alfaro, Francisco Salazar. *Phosphorus losses in surface run-off from grazed permanent pastures on a volcanic soil from Chile* (estudio en prensa).

Si bien la lixiviación de fertilizantes nitrogenados a las aguas superficiales y subterráneas depende del tipo de suelo y del cultivo, existen a nivel internacional metodologías y rangos aceptados para este tipo de estudios. Sin embargo, las emisiones al agua de los fertilizantes fosfatados son más difíciles de evaluar dado que dependen en gran parte de la sensibilidad del suelo a la erosión.

11.3 Fuentes de datos utilizados

En base a la revisión realizada, se seleccionaron fuentes bibliográficas para obtener los principales *inputs* y *outputs* de la etapa agrícola (Tabla 6 y Tabla 7).

Tabla 6. Etapa Agrícola: Principales *Inputs* – Datos Primarios.

Etapa Agrícola		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Cantidades pesticidas	Nacional	2007. Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales”. Universidad Técnica Federico Santa María. Santiago, Chile.
Cantidades fertilizantes	Nacional	
Consumo combustible (diesel)	Nacional	
Consumo Energía eléctrica	Nacional	
Agua para cultivo maíz	Nacional	
		UTFSM – Rodrigo Ortega

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Tabla 7. Etapa Agrícola: Principales *Outputs* – Datos Primarios.

Etapa Agrícola		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Emisiones anuales de amoníaco (NH ₃)	Internacional	2001. Emisiones de amoníaco de origen agrícola en la atmósfera. CORPEN y ECOTOC (European Center for Ecotoxicology and Toxicology)
Emisiones anuales de N ₂ O	Internacional	1996. Estimates of nitrous oxide emissions from soil in the UK, Energy Convers. SKIBA U.M., McTAGGART IP., SMITH KA., HARGREAVES KJ, FOWLER D.
Emisiones anuales de NO ₃	Internacional	Valor determinado en comparación con otros modelos de ACV, no es representativo de un área específica
Fijación C en el suelo	Internacional	Almacenar carbono en los suelos agrícolas de Francia, INRA, 2003 Kuzyakov y Domanski, 2000

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

La siguiente tabla muestra las fuentes secundarias utilizadas en el estudio, las cuales son parte de las bases de datos utilizadas y modeladas a través del software TEAMTM.

Tabla 8. Datos secundarios utilizados para la etapa agrícola.

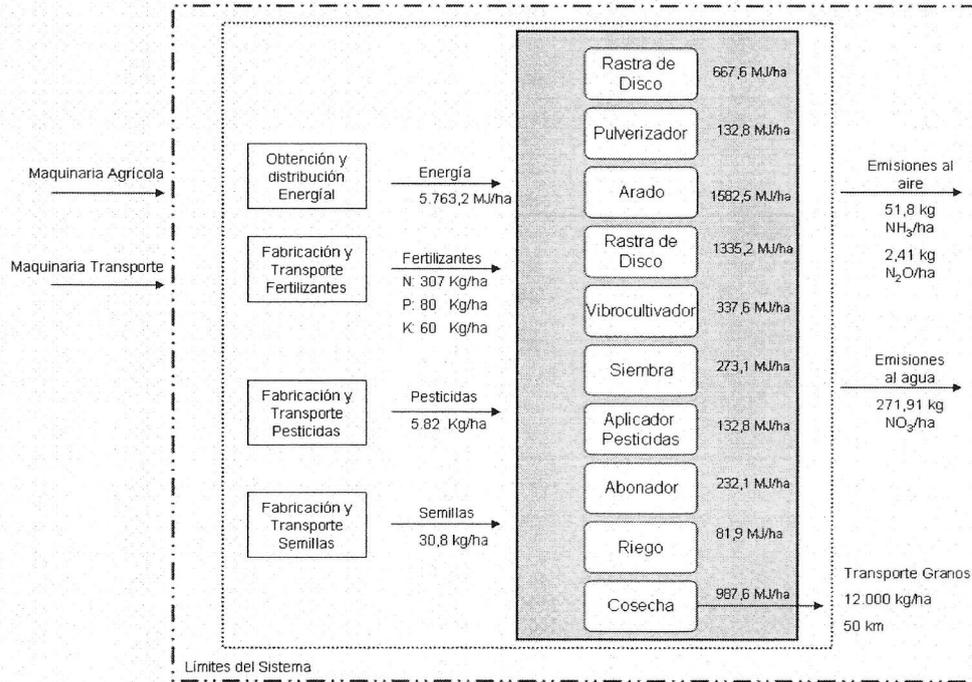
Etapa Agrícola		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Producción de urea	Internacional	Ecoinvent, 2004
Producción de pesticidas	Internacional	Ecoinvent, 2004
Producción fosfato diamónico	Internacional	Ecoinvent, 2004
Producción cal	Internacional	Ecoinvent, 2004
Producción cloruro de potasio	Internacional	Ecoinvent, 2004
Transporte marítimo	Internacional	Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL).
Transporte por ruta	Internacional	Ecoinvent, 2004

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

11.4 Presentación de los datos

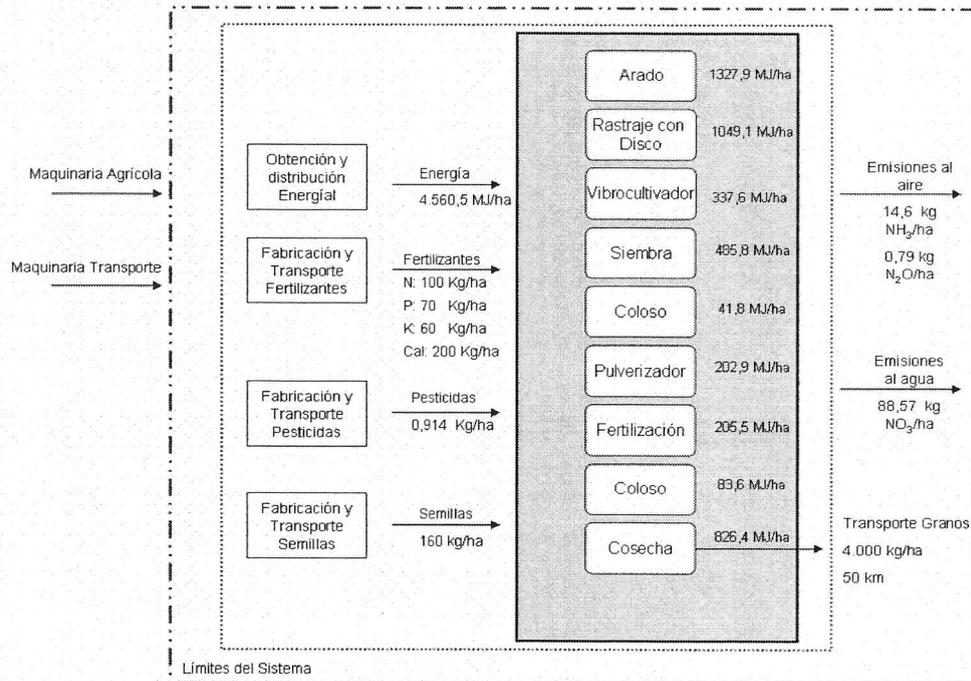
Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran los principales flujos considerados para la producción de granos de maíz, trigo y raps, para su posterior transformación en etanol y biodiesel.

Figura 3. Esquema ACV granos de maíz VII Región, labranza tradicional.



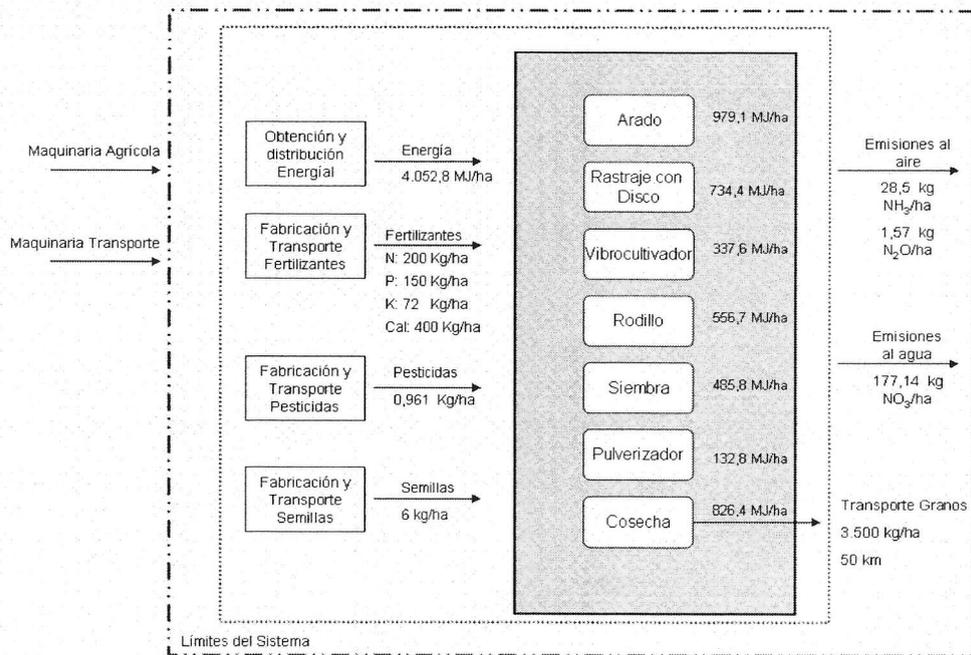
Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007. Basado en Estudio UTFSM 2007.

Figura 4. Esquema ACV granos de trigo VIII Región. Secano interior, labranza tradicional.



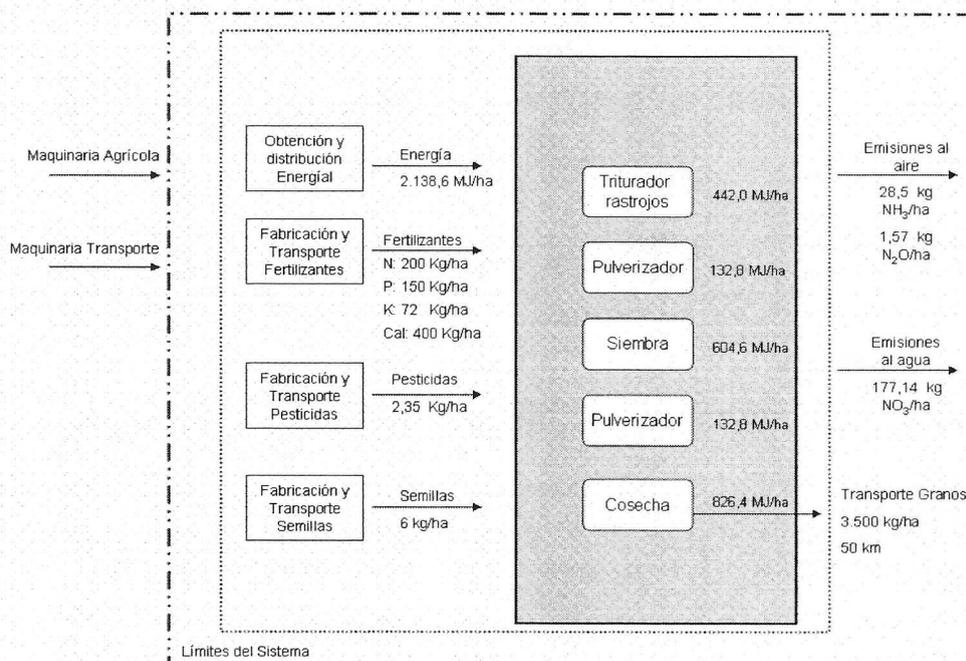
Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007. Basado en Estudio UTFSM 2007.

Figura 5. Esquema ACV granos de raps IX Región. Precordillera, labranza tradicional.



Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007. Basado en Estudio UTFSM 2007.

Figura 6. Esquema ACV granos de raps IX Región. Precordillera, cero labranza.



Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007. Basado en Estudio UTFSM 2007.

11.4.1 Consumo y distribución de energía

Las siguientes tablas indican la energía considerada y su distribución dentro de la etapa agrícola para cada uno de los sistemas productivos estudiados. Se consideró la energía empleada en mano de obra y mantenimiento de la maquinaria, así como también el consumo de diesel (litros) en cada una de las labores.

Tabla 9. Energía utilizada durante cultivo de maíz VII Región, labranza tradicional.

Labores	Maquinaria+Diesel+ Mano de Obra			Solo Diesel	
	Valor Energético de la labor (MJ/ha)	Nº de veces	Valor Energético total (MJ/ha)	Consumo de combustible (L/ha)	Valor Energético total (MJ/ha)
Rastra de disco	667,6	1	667,6	15,33	580,2
Pulverizador	132,8	1	132,8	3,04	115,0
Aradura cincel	791,2	2	1.582,5	23,87	903,2
Rastra de disco	667,6	2	1.335,2	30,66	1.160,3
Vibrocultivador	337,6	1	337,6	7,68	290,7
Sembradora Neumática	273,1	1	273,1	6,10	231,0
Pulverizador	132,8	1	132,8	3,04	115,0
Aporcador abonador	232,1	1	232,1	5,30	200,7
Cosecha	987,6	1	987,6	19,54	739,5
Riego	9,1	9	81,9		
Total			5.763,2	114,6	4.335,6

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Tabla 10. Energía utilizada durante cultivo de trigo VIII Región, labranza tradicional.

Labores	Maquinaria+Diesel+ Mano de Obra			Solo Diesel	
	Valor Energético de la labor (MJ/ha)	Nº de veces	Valor Energético total (MJ/ha)	Consumo de combustible (L/ha)	Valor Energético total (MJ/ha)
Arado Cincel	664,0	2	1.327,9	30,73	1.162,9
Rastraje con disco	524,5	2	1.049,1	24,09	911,7
Vibrocultivador	337,6	1	337,6	7,68	290,7
Siembra	485,8	1	485,8	10,55	399,0
Coloso	41,8	1	41,8	0,94	35,6
Pulverizador	101,4	2	202,9	4,64	175,6
Fertilización	102,7	2	205,5	4,64	175,6
Cosecha	826,4	1	826,4	16,54	625,9
Coloso	83,6	1	83,6	1,88	71,1
Total			4.560,5	101,7	3.848,2

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Tabla 11. Energía utilizada durante cultivo de raps IX Región, labranza tradicional.

Labores	Maquinaria+Diesel+ Mano de Obra			Solo Diesel	
	Valor Energético de la labor (MJ/ha)	Nº de veces	Valor Energético total (MJ/ha)	Consumo de combustible (L/ha)	Valor Energético total (MJ/ha)
Aradura cincel	979,1	1	979,1	18,31	692,9
Rastra de disco	734,4	1	734,4	16,87	638,2
Vibrocultivador	337,6	1	337,6	7,68	290,7
Rodillo	556,7	1	556,7	12,82	485,0
Siembra	485,8	1	485,8	10,55	399,0
Pulverizador	132,8	1	132,8	3,04	115,0
Cosecha	826,4	1	826,4	16,54	625,9
Total			4.052,8	85,8	3.246,7

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Tabla 12. Energía utilizada durante cultivo de raps IX Región, cero labranza.

Labores	Maquinaria+Diesel+ Mano de Obra			Solo Diesel	
	Valor Energético de la labor (MJ/ha)	Nº de veces	Valor Energético total (MJ/ha)	Consumo de combustible (L/ha)	Valor Energético total (MJ/ha)
Triturado de rastrojo	442,0	1	442,0	9,89	374,1
Pulverizador	132,8	1	132,8	3,04	115,0
Siembra	604,6	1	604,6	12,41	469,6
Pulverizador	132,8	1	132,8	3,04	115,0
Cosecha	826,4	1	826,4	16,54	625,9
Total			2.138,6	44,9	1.699,6

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

11.4.2 Consumo y transporte de fertilizantes y pesticidas

Los fertilizantes considerados en el alcance de este estudio son el Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N, P, K). También se consideró la Cal como elemento empleado como enmienda para corregir los problemas de acidez de los suelos. En la siguiente tabla, se indica el consumo de fertilizantes según los escenarios estudiados. Los diferentes valores provienen del estudio "Evaluación Socioeconómica y Balance energético de la cadena productiva desde la producción de la materia prima hasta la elaboración de biodiesel y etanol en Chile, a partir de los cultivos agrícolas tradicionales" elaborado por la UTFSM.

Tabla 13. Consumo de Fertilizantes.

	Maíz	Trigo Secano Interior	Raps	
	Tradicional	Tradicional	Tradicional	Cero Labranza
	VII Región	VIII Región	IX Región	IX Región
Nitrógeno (Kg N/ha)	307	100	200	200
Fósforo (Kg P ₂ O ₅ /ha)	80	70	150	150
Potasio (Kg K ₂ O/ha)	60	60	72	72
Cal (Kg/ha)	0	200	400	400

Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

De acuerdo a las fichas técnicas de los productos, se identificaron los diferentes tipos de fertilizantes utilizados en las etapas agrícolas estudiadas. La siguiente tabla indica los porcentajes de N, P y K que aportan los diferentes fertilizantes considerados en el estudio.

Tabla 14. Porcentaje de N, P y K por fertilizante.

		Maíz	Trigo Secano Interior	Raps	
		Tradicional	Tradicional	Tradicional	Cero Labranza
		VII Región	VIII Región	IX Región	IX Región
Nitrógeno	Total kg/ha	307	100	200	200
	Amoniaco	10%	27%	29%	29%
	Urea	90%	73%	71%	71%
Fósforo	Total kg/ha	80	70	150	150
	Fosfato diamonico	100%	100%	100%	100%
Potasio	Total kg/ha	60	60	72	72
	Muriato de potasio	100%	100%	100%	100%

Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

Además de los fertilizantes mencionados, los cultivos son sometidos a la aplicación de productos fitosanitarios tales como: herbicidas, fungicidas o pesticidas. La siguiente tabla indica los consumos considerados en el presente estudio.

Tabla 15. Consumo de productos fitosanitarios por tipo de cultivo.

	Maíz		Trigo Secano Interior		Raps			
	Tradicional VII Región		Tradicional VIII Región		Tradicional IX Región		Cero Labranza IX Región	
	Herbicidas (Kg/ha)	Atrazina	3	Topik 240EC	0,3	Lontrel 3A	0,25	Roundup
	Surprass	2.5	MCPA	1	Galant Plus r	1,5	Lontrel 3A	0,3
			Ajax 50WP	8	Tordon 24 K	0,15	Galant Plus r	1,5
							Tordon 24 K	0,2
Insecticidas (Kg/ha)	Lorsban 4E	5						
Fungicidas (Kg/ha)			Duett	0,8	Cercobin M	0,5	Cercobin M	0,5
					Sportak ec	40	Sportak ec	40
						1		1

Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

De la cantidad de pesticidas ingresados a cada uno de los sistemas productivos, se consideraron únicamente las sustancias activas de cada pesticida, descontando ingredientes como agua, emulsionantes u otros. La siguiente tabla indica las sustancias activas consideradas para el cálculo de los impactos.

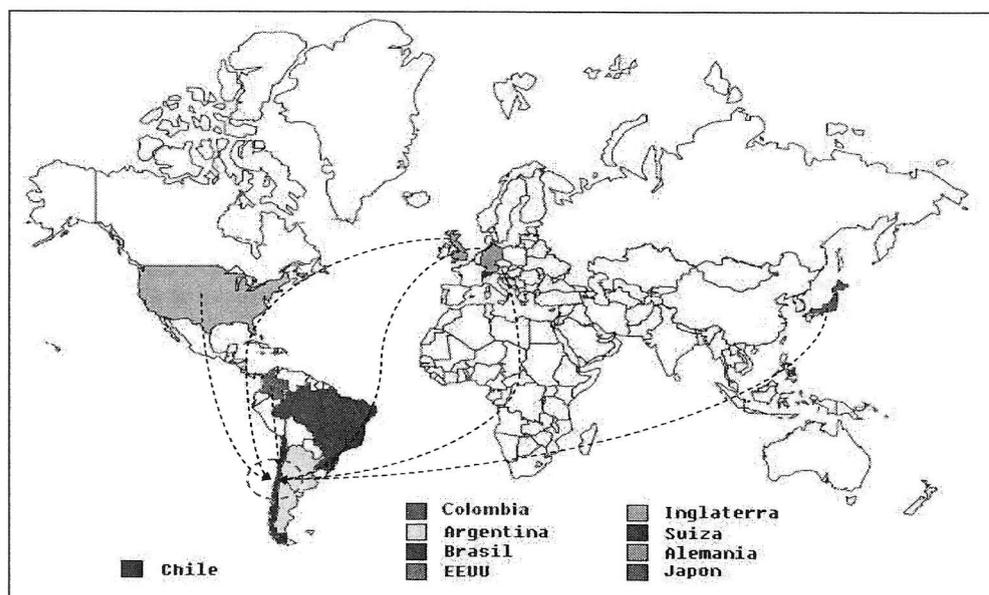
Tabla 16. Sustancias activas de los productos fitosanitarios utilizados.

	Maíz		Trigo Secano Interior		Raps			
	Tradicional VII Región		Tradicional VIII Región		Tradicional IX Región		Cero Labranza IX Región	
	Herbicidas (Kg/ha)	Atrazina	1,5	Topik 240EC	0,06	Lontrel 3A	0,1187	Roundup
	Surprass	1,92	MCPA	0,75	Galant Plus r	0,0465	Lontrel 3A	0,1187
			Ajax 50WP	0,004	Tordon 24 K	0,0366	Galant Plus r	0,0465
							Tordon 24 K	0,0366
Insecticidas (Kg/ha)	Lorsban 4E	2,4						
Fungicidas (Kg/ha)			Duett	0,1	Cercobin M	0,35	Cercobin M	0,35
					Sportak ec	40	Sportak ec	40
						0,4		0,4

Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

La procedencia de los insumos es modelada en el software TEAM™ para asociar el impacto ambiental del transporte de dicho insumo desde el país de origen al lugar de su aplicación, de esta manera, se estimaron las distancias promedio para cada uno de los insumos utilizados en el ACV provenientes del extranjero. Estas distancias son representativas y no necesariamente indican la distancia en base a la trayectoria real de desplazamiento.

Figura 7. Origen de Fertilizantes y Pesticidas considerados en el estudio.



Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Se supuso transporte en barco para cada uno de los productos indicados en la Tabla 17.

Tabla 17. Distancias consideradas en transporte de insumos desde el extranjero.

Insumo	Lugar de Origen	Lugar de Destino	Km. recorridos
Fertilizante			
Urea	Nacional	Nacional	-
Cal	Nacional	Nacional	-
Fosfato diamonico	Bogotá - Colombia	Quinteros - Chile	4.183,1
Muriato de potasio	Nacional	Nacional	-
Pesticidas			
Tordon 24 K	BBSS - Argentina	Quinteros - Chile	1.228,6
Galant Plus r	BBSS - Argentina	Quinteros - Chile	1.228,6
Lontrel 3A	Miami – EEUU	Quinteros - Chile	6.585,7
Sportak 40 ec	Frankfurt – Alemania	Quinteros - Chile	12.110,7
Cercobin M	Tokio - Japón	Quinteros - Chile	17.149,8
Roundup	BBSS - Argentina	Quinteros - Chile	1.228,6
Atrazina	Nacional	Nacional	-
Surprass	BBSS - Argentina	Quinteros - Chile	1.228,6
Lorsban 4E	BBSS - Argentina	Quinteros - Chile	1.228,6
Topik 240EC	Zurich - Suiza	Quinteros - Chile	11.966,0
Ajax 50WP	Nacional	Nacional	-
MCPA	Londres - Inglaterra	Quinteros - Chile	11.651,6
Duett	Porto Alegre - Brasil	Quinteros - Chile	1.949,8

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Posteriormente, se consideró el transporte dentro del territorio nacional para cada uno de los insumos de la tabla anterior. El tipo de transporte considerado fue terrestre utilizando un camión diesel estándar de 24 toneladas de capacidad máxima y consumo de 3,6 km/l (ver sub-capítulo 16.3).

Se consideraron distancias desde el punto de destino al campo para cada sistema productivo. Las ciudades consideradas como representativas del área de influencia del estudio fueron:

Tabla 18. Ciudades representativas por sistema productivo.

Sistema Productivo	Región	Ciudad	Producción
Maíz	VII	Linares	Etanol
Trigo	VIII	Chillán	Etanol
Raps	IX	Ercilla	Biodiesel
Raps cero labranza	IX	Ercilla	Biodiesel

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Se consideró un radio de acción de 50 Km. entre las ciudades mencionadas en la tabla anterior y la ubicación de los campos.

11.4.3 Fabricación y transporte de semillas

Se consideró compra de semillas a productores locales para la primera siembra de los cultivos seleccionados, y luego se asumió un autoconsumo para las siembras posteriores. Dicho supuesto se utilizó con el objeto de no considerar transporte de semillas desde otro lugar, por ser una función poco representativa dentro del ACV de la semilla, de esta manera la utilización o compra de semillas a campos o centros cercanos, no interferirá con los resultados del estudio.

11.4.4 Principales emisiones consideradas

Emisiones asociadas a Fertilizantes

Emisiones de amoníaco en el aire

Las emisiones de NH₃, producto de la aplicación fertilizantes nitrogenados, fueron calculadas a partir del consumo de fertilizante y de acuerdo a la metodología sugerida por CORPEN (*Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement*), en su estudio "Las emisiones de amoníaco de origen agrícola en la atmósfera, junio 2001". Dicha metodología propone factores de emisiones que corresponden a las tasas de volatilización determinadas por ECETOC (*European Center for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals*) y utilizadas en las recomendaciones de EMEP/CORINAIR.

Tabla 19. Tasa de volatilización por tipo de fertilizante.

Fertilizante	Tasa de volatilización (% de N input)
Nitrato de amonio	2%
Sulfato de amonio	10%
Nitrato calcio/sodio	2%
Urea	15%
N solución	8%
Amoníaco	4%
Otros	2%

Fuente: ECETOC

De acuerdo a esta metodología, los valores de emisiones de NH₃ son los siguientes:

- 51,8 kg NH₃/ha para cultivo de maíz VII Región.
- 14,6 kg NH₃/ha para cultivo de trigo VIII Región.
- 28,5 kg NH₃/ha para cultivo de raps IX Región.
- 28,5 kg NH₃/ha para cultivo de raps IX Región (cero labranza).

Emisiones de óxidos nitrosos N₂O en el aire

Para estimar las cantidades de óxido nitroso emitidas al aire existen varias metodologías. Una de ellas es la metodología propuesta por el IPCC (IPCC, 1996) que estima que las pérdidas de N en forma de óxido nitroso son un 1,25 % del nitrógeno aplicado.

Sin embargo, para el presente estudio se consideró la metodología propuesta por Skiba et al (1996), quien realizó ensayos de medición de emisiones de óxido nitroso en cereales de invierno en el Reino Unido, cuyos resultados fueron de un 0,5% de las aportaciones de N en fertilización. Si bien este valor corresponde a la realidad del Reino Unido, los valores considerados representan una hipótesis de trabajo factible que está dentro de los rangos de los valores establecidos por el IPCC.

De acuerdo a esta metodología, los valores de emisiones de N₂O son los siguientes:

- 2,41 kg N₂O/ha para cultivo de maíz VII Región.
- 0,79 kg N₂O/ha para cultivo de trigo VIII Región.
- 1,57 kg N₂O/ha para cultivo de raps IX Región.
- 1,57 kg N₂O/ha para cultivo de raps IX Región (cero labranza).

Emisiones de Nitrato NO₃ al agua

De acuerdo a la revisión y la comparación de diferentes modelos ocupados para el análisis de ciclo de vida de biocombustibles a nivel internacional, las emisiones de nitratos al agua representan 20% del total del N de entrada. El valor de 20% no es representativo de una realidad geográfica específica y está más relacionado al cultivo de cereales.

De acuerdo a esta metodología, los valores de emisiones de NO₃ son los siguientes:

- 271,91 kg NO₃/ha para cultivo de maíz VII Región.
- 88,57 kg NO₃/ha para cultivo de trigo VIII Región.
- 177,14 kg NO₃/ha para cultivo de raps IX Región.
- 177,14 kg NO₃/ha para cultivo de raps IX Región (cero labranza).

Emisiones compuestos fosfatados

No se existen emisiones asociadas al aire, y las liberadas al suelo, no se consideraron como un impacto negativo al ambiental puesto que el fósforo es un elemento esencial para la vida. Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético.

Este compuesto no es abundante en el suelo y lo que es peor, mucho del fósforo presente en el suelo no está en formas disponibles para las plantas. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo, según éste, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar "fijado" (no disponible) en los minerales del suelo, esto significa que la planta no puede absorberlo, por lo que la existencia de fósforo en el suelo no se consideró como precursor de algún impacto ambiental negativo.

Respecto a las emisiones al agua, los riesgos de fuga dependerán del tipo de suelo. Los fosfatos son captados por partículas del suelo y pueden ser evacuadas en aguas superficiales dependiendo de la sensibilidad del suelo a la erosión. Si hay fuertes lluvias, en este tipo de suelo, las partículas de P se dirigirán a cauces superficiales pudiendo contribuir con la eutrofización, sin embargo, no se consideraron las emisiones provenientes de la aplicación compuestos fosfatados a las aguas por no encontrar datos disponibles en Chile ni datos promedios en literatura internacional.

Emisiones por Compuestos Fitosanitarios

No se consideraron las emisiones provenientes de la aplicación de compuestos fitosanitarios por no encontrar datos disponibles en Chile ni datos promedios en literatura internacional.

Estudios revisados consideran que las emisiones al aire son una fracción muy pequeña y por lo tanto, muy difícil de evaluar. No se consideran emisiones al suelo por existir una degradación natural por micro-organismos, sin embargo, se reconoce la importancia de estudiar emisiones al agua debido a que cuando las moléculas de fitosanitarios ya no pueden ser captadas por los micro-organismos, puede existir riesgo de lixiviación y derivarse en algún grado de toxicidad humana. No se encontraron datos al respecto.

Cabe destacar que para el estudio se consideraron las emisiones de producir los compuestos fitosanitarios, desde su extracción, elaboración y transporte al campo nacional.

Emisiones de CO₂ biomasa al aire y Fijación de Carbono en el suelo

El crecimiento del cultivo supone un importante sumidero de CO₂ atmosférico debido a la fijación de este gas en el proceso de fotosíntesis de las plantas para formar compuestos de carbono orgánicos utilizados en su crecimiento.

El CO₂ atmosférico que es captado durante la fotosíntesis forma posteriormente la estructura tisular de las plantas. Ese mismo carbono captado es luego liberado a través de:

- La quema de rastrojos en el campo.
- La quema de los productos elaborados a través del uso de la biomasa, en el caso de este estudio, esto se traduce en la combustión del biodiesel/etanol en los motores seleccionados, la formación de CO₂ en el proceso de fermentación del etanol y la quema de glicerina en una planta cementera, para el caso del biodiesel.

De esta manera el C es liberado en forma de CO₂ a la atmósfera, comenzando de esta forma nuevamente el ciclo liberado, así entonces, las cantidades de CO₂ emitidas por la combustión de los biocombustibles y del uso del resto de los sub-productos, no se han contabilizado como emisiones y se han considerado como cero por no contribuir al efecto invernadero.

El presente estudio consideró la quema de rastrojos para la mayoría de los escenarios considerados, sin embargo, todo el C fijado por la biomasa termina al final mineralizado en forma de CO₂ al realizarse la quema, por lo que no se han contabilizado como emisiones y también se han considerado como cero.

Respecto a la cantidad de carbono fijado en el suelo, existen varias referencias a nivel internacional tales como:

- "Almacenar carbono en los suelos agrícolas de Francia", INRA, 2003. Este estudio indica valores entre 100 y 300 Kg/ha/año de fijación de carbono en el suelo, considerada en el largo plazo (30 años). Sin embargo, este estudio demuestra que la fijación de carbono a largo plazo se concreta en la medida que las rutas técnicas estén constantes en el tiempo y bajo un sistema de aradura de baja profundidad.
- Kuzyakov y Domanski, (2000). De esta revisión se concluye que como promedio, los cereales transfieren un 20 - 30% del carbono asimilado al suelo. La mitad de este C forma parte de las raíces y se transforma al final en CO₂. En un estudio

anterior de ACV realizado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), se determinó una fijación de carbono en el suelo de 142,05 Kg/ha/año para cereales españoles.

En el presente estudio no se consideró la captura de carbono en el suelo como escenario base, debido que los antecedentes bibliográficos recién mencionados estipulan que dicha fijación existe en casos de prácticas permanentes, no existiendo cambio en el uso de suelo y en las prácticas agrícolas a largo plazo. Sin embargo, se consideró un valor de 50 Kg. de carbono fijado por hectárea dentro del análisis de sensibilidad. Se asumió dicho valor debido a que las diferentes realidades estudiadas no corresponden exactamente a las hipótesis de trabajo de los estudios internacionales mencionados previamente. De esta manera, para el análisis de sensibilidad, se consideró para la fijación de carbono en el suelo, el equivalente a no emitir 183 Kg. de CO₂ por ha/año.

Emisiones de compuestos no CO₂ por quema de rastrojos

La quema de estos residuos genera emisiones de diferentes compuestos a la atmósfera, sin embargo, por la falta de estudios nacionales, se utilizó un modulo Ecobilan (de quema de residuos vegetales), para representarlos en el estudio. El modulo representa la quema de material vegetativo con 55% de humedad, y considera las emisiones atmosféricas de Amoniaco, CO, NO_x, N₂O, material particulado y SO_x. En el caso de las emisiones de CO₂ se consideraron como 0 por no contribuir al efecto invernadero. Además, cabe recalcar que no se consideró el uso de combustible para la iniciación de la quema.

Además, se realizaron análisis de sensibilidad donde se consideró la quema del 50% de rastrojos del maíz (por ser el cultivo con mayor cantidad de residuos) y la no quema de rastrojos de raps en cero labranza (práctica utilizada en este tipo de situación).

11.5 Calidad de los datos

Para la etapa agrícola, se ocuparon mayoritariamente datos nacionales en base a las consultas de expertos en terreno y a las fichas técnicas elaboradas en estudios anteriores. Algunos parámetros contemplados en estudios del tipo ACV y que son relativos a las emisiones al aire y al agua asociadas al consumo de productos fitosanitarios y fertilizantes de los cultivos considerados en el presente estudio no se miden de manera específica y detallada a nivel nacional.

12 Producción de etanol

Es importante destacar que hasta la fecha del presente estudio, no existen plantas de producción de etanol operando en Chile, por lo que la data recopilada se basó en el estudio realizado por la Universidad Técnica Federico Santa María y datos internacionales.

12.1 Principales hipótesis de trabajo

12.1.1 Tecnología

Se ha considerado el proceso de producción de etanol a partir de granos de maíz y trigo. La tecnología estudiada permite la utilización indistinta de un tipo de grano u otro, por lo que se denomina *multi-feed*. Por otro lado, se consideró un sistema de molienda del grano en seco (*dry mill*), que según estudios, tiene un mayor costo (energético y económico) asociado, ya que considera secar los residuos de molienda, pero permite producir un sub-producto comercializable denominado DDGS (*dry distiller grain stillage*), utilizado como alimento para animales.

12.1.2 Ubicación y tamaño de las plantas

Las plantas productoras de etanol se localizaron desde la VII Región del país hacia el sur. Específicamente, se consideró la ciudad de Linares, para el caso de etanol de maíz, y Chillán para el caso de etanol de trigo.

La ubicación de los centros de transformación se basa en el estudio y recomendaciones de la UTFSM, quienes realizaron un modelo de localización de las plantas en base a las áreas de cultivo, vías de acceso y centros de consumo, entre otros parámetros. Mayores referencias se encuentran en el estudio "Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales" de la UTFSM.

Respecto al tamaño, se consideró un volumen de producción de 100.000 m³ anuales, según mayor tamaño propuesto en el estudio de la UTFSM. Se cree que para la realidad nacional, es un tamaño realista si se compara con tamaños de plantas ya instaladas en países con producciones de granos similares a las consideradas en Chile.

12.1.3 Consumo de agua

El agua de entrada a la planta de etanol provendrá de fuentes naturales (vertientes, pozos subterráneos) y no se consideró ningún tipo de proceso previo, sin embargo, para el agua de salida se consideró una planta interna de tratamiento. La cantidad de agua utilizada proviene del levantamiento de datos de la UTFSM.

Se consideró que la cantidad de agua que se utiliza en el proceso (*input*) es la misma que se trata con posterioridad (*output*). Ésto con el objeto de representar el peor escenario de eficiencia de consumo de agua posible, ya que no se poseen datos reales de la eficiencia de las plantas de biocombustibles estudiadas. Plantas con un eficiente consumo y utilización de sus aguas presentarán impactos menores a los considerados en el presente estudio.

12.1.4 Residuos

Los residuos considerados en esta etapa se relacionan únicamente al tratamiento de las aguas, donde se consideró una generación de lodos. No se cuantificaron residuos asimilables a domiciliarios por ser cantidades muy pequeñas.

12.1.5 Utilización de DDGS

Uno de los sub productos resultantes del destilado de granos de trigo y maíz en la obtención de etanol son los DDGS, producto proteico destinado a alimentación animal (bovinos).

Los DDGS se producen después de la sacarificación, fermentación y destilación de los cereales para la obtención del etanol. El proceso consiste en convertir los almidones y azúcares del cereal en biocombustible, lo que produce una reducción significativa en los DDGS el contenido en hidratos de carbono no estructurales, almidón y azúcares, y se concentra proporcionalmente el porcentaje del resto de los nutrientes respecto al cereal de partida.

Dado que la mayor parte del almidón desaparece en el proceso y se concentra el resto de nutrientes, los DDGS son una fuente de proteína, fibra y grasa. Además tienen un alto contenido en levaduras, minerales y vitaminas del grupo B.

Para el presente estudio se asumió una sustitución de harina de soya, utilizada actualmente en la dieta de bovinos, equivalente a la cantidad de DDGS producida. De esta manera, se consideró un impacto evitado al dejar de producir harina de soya, sin embargo, es importante recalcar que los impactos ambientales evitados relacionados a la menor producción de harina de soya se producen en Argentina, país de procedencia de la harina de soya consumida en Chile.

Se consideró la importación de harina de soya desde Mendoza (Argentina) a Osorno (Chile). Esta distancia fue considerada en el transporte de soya al territorio nacional para luego asignar las emisiones al aire correspondientes a dicho traslado.

12.1.6 Criterios de corte para inputs de materiales

Para el presente estudio, se acordó ocupar un criterio de corte del 98% por masa, lo que significa que la producción del 98% de los mayores *inputs* ha sido incluida en el sistema (Para mayores detalles metodológicos, referirse al sub-capítulo 6.2). En esta etapa, no se consideraron los *inputs*: levadura, alamilasa, glucomilasa, por presentarse en cantidades despreciables para el sistema.

12.1.7 Transporte de etanol

Una vez terminada la etapa de transformación, se consideró el traslado del etanol a la ciudad de Santiago, donde se realizará la mezcla con gasolina antes de su comercialización final.

Se asumió como escenario base de comercialización de biocombustibles (donde se distribuirá a centros minoristas como estaciones de servicio o a grandes empresas con flotas vehiculares propias) la ciudad de Santiago por ser la ciudad con mayores consumos de gasolina 93 octanos sin plomo en el país.

Según el estudio "La industria de los combustibles líquidos: El caso de Chile" (Arellano y Valdés, Ediciones Universidad Católica de Chile, 2006), el 62% de la gasolina que se vende en el país se comercializa en Santiago.

En base a las proyecciones de la Universidad Técnica Federico Santa María, y utilizando los porcentajes de distribución indicados en el estudio de Arellano y Valdés, la demanda de gasolina en Santiago para el año 2008 sería de 1.903.749 m³, mientras que en Talca sería aproximadamente 65.764 m³.

Indudablemente Santiago es donde existe la mayor demanda de combustibles, por lo que se asumió la realización de la mezcla en Santiago y su posteriormente comercializar en la Región Metropolitana, pudiendo extenderse a ciudades de alta demanda de gasolina como Valparaíso/Viña del Mar (310.580 m³) por el norte, o Concepción (115.536 m³) por el sur.

Para el transporte de etanol entre la planta de transformación y el centro de mezcla (Santiago), se consideró una distancia promedio de 303 km considerando la producción de etanol en Linares y de 399 km en Chillán.

Se asumió un transporte terrestre, vía camiones utilizando diesel (para mayores referencias ver capítulo 16 de Producción Electricidad, Gas Natural y Modelo de transporte).

12.2 Proceso de recopilación de los datos

Para la recopilación de información, se elaboraron cuestionarios específicos para cada una de las etapas del estudio, los cuales fueron enviados a los principales actores relevantes, por tema, en el país, y se revisó bibliografía internacional.

Para la etapa de transformación de grano a etanol, se recopiló información respecto a las características de los sistemas de transformación existentes, los insumos requeridos y los productos generados. Si bien es cierto, no existen plantas productoras de etanol operando en Chile, se les envió el cuestionario a actores con relevancia y conocimiento en el proceso.

Tabla 20. Principales interlocutores contactados durante el ICV.

Tema	Nombre interlocutor	Institución
Producción de Etanol	Francisco Armijo	Etanol del Pacífico Sur S.A.
Tecnologías asociadas a biocombustibles y ubicación de plantas	Rodrigo Ortega	Universidad Técnico Federico Santa María
Modelo de localización de las plantas	Luis Acosta	
Consumos insumos producción etanol y biodiesel	Roberto Muñoz	

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

12.3 Fuente de datos utilizados

En base a la revisión realizada, se seleccionaron fuentes bibliográficas para obtener los principales *Inputs* y *outputs* de la etapa transformación de etanol (Tabla 21 y Tabla 22).

Tabla 21. Etapa Transformación: Principales *Inputs* – Datos Primarios.

Etapa Transformación		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Cantidades de insumos industriales	Internacional	2007. Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales". Universidad Técnica Federico Santa María. Santiago, Chile.
Cantidad de agua para el proceso		
Consumo total de electricidad y gas natural utilizado para generar un litro de biocombustible		
Equivalente nutritivo DDGS / torta soya	Internacional	Tablas FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Tabla 22. Etapa Transformación: Principales *Outputs* – Datos Primarios.

Etapa Transformación		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Descargas aguas del proceso Etanol	Internacional	Información confidencial Ecobilan en base a planta modelo en Europa
Generación de residuos	Internacional	Información confidencial Ecobilan en base a planta modelo en Europa

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

La siguiente tabla muestra las fuentes secundarias utilizadas en el estudio, las cuales son parte de las bases de datos utilizadas y modeladas a través del software TEAMTM.

Tabla 23. Datos secundarios utilizados para la etapa transformación.

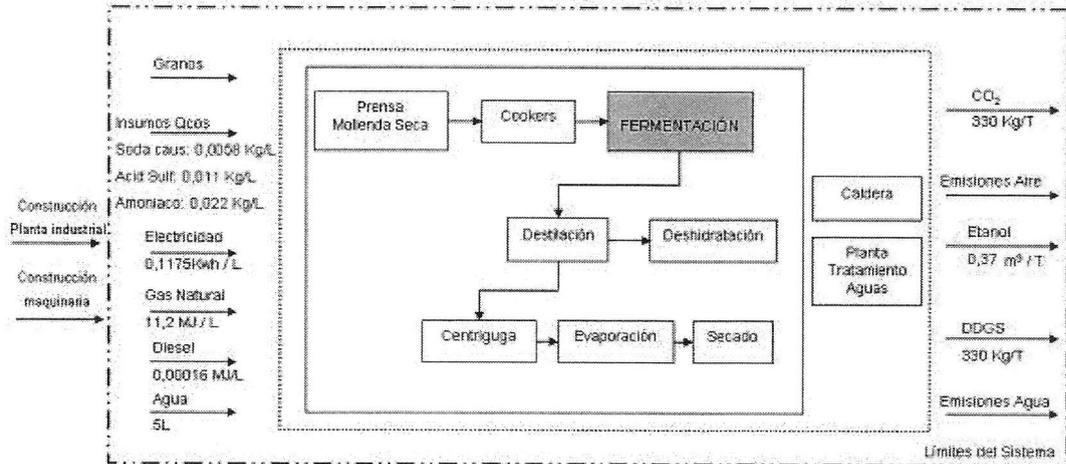
Etapa Transformación		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Producción de hidróxido de sodio	Internacional	Eco-profiles of the European plastics industry (APME)
Producción de amoníaco	Internacional	Eco-profiles of the European plastics industry (APME)
Producción de ácido sulfúrico	Internacional	Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL)
Producción de soya	Internacional	Ecobilan en base a Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, Final Report, May 1998
Combustión gas natural	Internacional	Ecoinvent, 2004
Combustión diesel	Internacional	Ecoinvent, 2004
Transporte por ruta	Internacional	Ecoinvent, 2004

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

12.4 Presentación de los datos

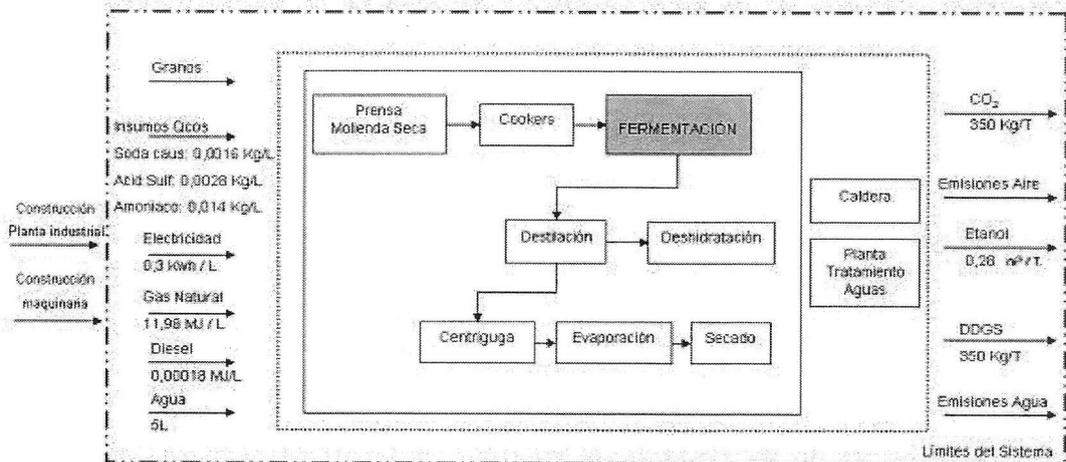
Las figuras 8 y 9 muestran los flujos considerados para la producción de etanol mediante la extracción de aceite de maíz y trigo.

Figura 8. Esquema ACV Planta etanol de maíz.



Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

Figura 9. Esquema ACV Planta etanol de trigo.



Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

12.4.1 Etapas de producción de etanol

A continuación se describen las principales etapas de la producción de etanol consideradas en el análisis.

1. Molienda: El grano pasa por un molino generando un fino polvo denominado harina.
2. Licuefacción: La harina es mezclada con agua y la enzima alfa-amilasa, y pasa luego a través de ollas de cocción (*cookers*) donde el almidón es liquidificado. En esta etapa se suceden períodos de alta temperatura (100-120 °C) y un período de reposo a menor temperatura (95 °C). La función del calor es facilitar el licuado.
3. Sacarificación: La masa proveniente de los *cookers* es enfriada y se adiciona una segunda enzima, la gluco-amilasa, para convertir el almidón líquido en azúcares fermentables.
4. Fermentación: A la masa proveniente de la etapa 3 se le adiciona levadura para fermentar los azúcares. Se utiliza un proceso continuo a través del cual la masa fluye a través de diferentes estanques de fermentación, de manera que cuando pasa al estanque final se encuentra totalmente fermentada. En este proceso se libera dióxido de carbono (CO₂).
5. Destilación: La masa fermentada, denominada cerveza, contiene entre un 11% y un 15% de etanol por unidad de volumen. La masa es bombeada a un sistema de destilación multi columna, donde el etanol es separado de los sólidos y el agua. Al final de las columnas de destilación el etanol tiene un 96% de pureza y la masa residual (denominada *stillage*) se recupera y se transfiere al área de procesamiento de sub-productos.
6. El etanol resultante pasa a través de un proceso de deshidratación para remover el agua que aún contenga.
7. Obtención de sub-productos: Distintos procesos de centrifugado, evaporación y secado son utilizados para remover el agua desde el *stillage*. El producto resultante es el DDGS que se comercializará como reemplazo de harina de soya o tortas de ésta en alimentación animal.

Paralelamente al proceso, se ha agregado una planta primaria de tratamiento de aguas para cumplir con las exigencias de descarga de residuos industriales líquidos (riles) que exige la normativa nacional. Esta planta de tratamiento permitirá la remoción de sólidos insolubles como arena y materiales como grasas y espuma.

12.4.2 Generación etanol y sub-productos

La siguiente tabla indica las cantidades de etanol y los sub-productos, al utilizar maíz o trigo como materia prima en una planta *multifeed* de etanol.

Tabla 24. Rendimientos por tonelada de materia prima.

Producto	Maíz	Trigo
Etanol (m ³ /ton)	0,37	0,28
DDGS (kg/ton)	330	350
CO ₂ (kg/ton)	330	350

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Se consideró la utilización de DDGS como sustituto de harina de soya para alimentación animal. La siguiente tabla indica la equivalencia entre DDGS de trigo y maíz y harina de soya.

Tabla 25. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos.

	DDGS Trigo	DDGS Maíz	Harina de Soya
Contenido proteico	32%	24,5%	44%
Digestibilidad para rumiantes	73%	77%	91%
Equivalente entre DDGS trigo (1 Kg) y soya	1		0,58
Equivalente entre DDGS maíz (1 Kg) y soya		1	0,47

Fuente: FEDNA, 2003.

De esta manera el DDGS comercializado en Chile reemplaza la producción de harina de soya en Argentina, evitando los impactos derivados de la producción de soya, la cual considera principalmente las emisiones de la etapa agrícola, consumo de agua y residuos generados.

12.4.3 Consumo de agua, energía e Insumos

La siguiente tabla indica las cantidades energía, insumos y agua necesarios para producir un litro de etanol.

Tabla 26. Requerimientos de insumos para la producción de etanol.

Insumos	Maíz	Trigo
Gas natural (MJ/L)	11,2	11,98
Electricidad (kWh/L)	0,1175	0,30
Diesel (L)	0,00016	0,00018
Soda cáustica (kg/L)	0,0058	0,0016
Ac. Sulfúrico (kg/L)	0,011	0,0028
Amoniaco (kg/L)	0,022	0,014
Agua (L/L)	5	5

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Al igual que en la etapa agrícola, la procedencia de los insumos es modelada en el software TEAMTM para asociar el impacto ambiental del transporte de dicho insumo desde su lugar de producción hasta su lugar de utilización, de esta manera, se estimaron las distancias promedio para cada uno de los insumos utilizados en el ACV.

Todos los insumos considerados para la producción de etanol son producidos localmente, por lo que solamente se incorporó su transporte hasta la planta de transformación.

Tabla 27. Distancias consideradas en transporte de insumos para producción de etanol.

Insumo	Ciudad de Origen	Ciudad de Destino	Km. recorridos
Soda cáustica	Talcahuano	Linares	222,67
	Talcahuano	Chillán	122,03
Ac. Sulfúrico	Rancagua	Linares	219,44
	Rancagua	Chillán	314,88
Amoniaco	Santiago	Linares	303,57
	Santiago	Chillán	399,00

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

El tipo de transporte considerado fue terrestre utilizando un camión diesel estándar de 24 toneladas de capacidad máxima y consumo de 3,6 km/l (ver sub-capítulo 16.3).

12.4.4 Principales emisiones consideradas

Emisiones al aire

Emisiones de CO₂ biomasa

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de fermentación se libera dióxido de carbono (CO₂), sin embargo, todo el C fijado por la biomasa durante la etapa agrícola se mineraliza en forma de CO₂ al realizarse la fermentación, por lo que no se han contabilizado como emisiones que contribuyen al efecto invernadero. No obstante, es importante recalcar que el CO₂ podría ser comercializado y considerarse como algún impacto evitado.

Emisiones de combustión gas natural y diesel

Las emisiones consideradas en esta etapa son las provenientes de la combustión del diesel en una caldera y utilización de gas natural. Estas plantas están dimensionadas para la producción de energía térmica necesaria para el proceso.

El cálculo de las emisiones consideradas se basa en módulos de quema de gas natural y diesel provenientes de Ecoinvent, 2004.

Emisiones al agua

El agua utilizada en todo el proceso de producción de etanol termina en una planta interna de tratamiento. Una pequeña fracción de ella se evapora y otra es recirculada durante el proceso. Los efluentes de la planta de tratamiento son la principal fuente de contaminación de una planta de etanol.

Las emisiones consideradas se basan en información confidencial Ecobilan en base a plantas de producción de etanol en Europa.

12.5 Calidad de los datos

Para la etapa de elaboración del etanol, se ocuparon datos bibliográficos internacionales dado la ausencia de plantas operando en Chile. Se trata de datos coherentes con el tamaño de planta y el desarrollo tecnológico considerado en el presente estudio. En general, son datos promedios que se relacionan al funcionamiento de diferentes plantas en Europa.

13 Producción de biodiesel

Al igual que en el caso de producción de etanol, en Chile no existen plantas de producción de Biodiesel operando, por lo que la data recopilada se basó en el estudio realizado por la Universidad Técnica Federico Santa María y datos internacionales.

13.1 Principales hipótesis de trabajo

13.1.1 Tecnología

La producción de biodiesel se basó en el proceso de Transesterificación de aceites a través de un catalizador (pudiendo ser ácido o alcalino). Se ha considerado el proceso de producción de biodiesel a partir de granos de raps.

Para la extracción del aceite del grano, para el ACV se consideró la extracción en frío por presentar un mejor manejo de los sub-productos derivados y en coherencia con los datos disponibles entregados en estudios anteriores. Otra alternativa es realizar una extracción en caliente (mediante vapor) y otra con solventes, obteniendo mayores rendimientos de extracción de aceite.

13.1.2 Ubicación y tamaño de las plantas

Las plantas productoras de biodiesel se localizaron en la provincia de Cautín, específicamente en la ciudad de Ercilla, IX Región por encontrarse cercana a los principales centros de cultivo y producción de raps del país.

La ubicación de los centros de transformación se basó en la metodología de la UTFSM descrita en el estudio "Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales".

Respecto al tamaño, se consideró la planta de mayor producción propuesta en el estudio de la UTFSM (60.000 m³ anuales). Esto se sustenta en conversaciones con diferentes actores nacionales como Empresas IANSA, SOFO, quienes opinan que plantas de menor tamaño no serían competitivas para la realidad del sector agrícola local.

13.1.3 Consumo de agua

El agua de entrada a la planta de biodiesel provendrá de fuentes naturales (vertientes, pozos subterráneos) y no se consideró ningún tipo de proceso previo, sin embargo, para el agua de salida se consideró una planta interna de tratamiento.

Al igual que en el caso del etanol, se consideró que el agua de entrada (*input*) será la misma que la tratada con posterioridad (*output*).

13.1.4 Residuos

Los residuos considerados en esta etapa se relacionan únicamente al tratamiento de las aguas, y se asocian a la generación de aceites y grasas, así como también a fracciones de lodos y material saponificado. No se cuantificaron residuos asimilables a domiciliarios por ser cantidades muy pequeñas.

13.1.5 Utilización torta de raps

Uno de los sub-productos resultantes de la extracción de aceite es la Torta de biodiesel, producto proteico destinado a alimentación animal (bovinos).

Para el presente estudio se asumió un porcentaje de sustitución de harina de soya, utilizada actualmente en la dieta de bovinos, por torta. De esta manera, se consideró un impacto evitado al dejar de producir harina de soya, sin embargo, es importante recalcar que este impacto evitado se produce en Argentina, país de procedencia de la harina de soya consumida en Chile.

Se consideró la procedencia de harina de soya, como la mencionada en el caso del etanol.

13.1.6 Utilización de glicerina

El crecimiento de la industria de biocombustibles como el biodiesel, trae asociado un aumento en la generación de glicerina, la cual es utilizada por industrias farmacéuticas y de cosméticos principalmente. Sin embargo, en los últimos años, el inminente crecimiento de los biocombustibles ha traído consigo un aumento en el stock de glicerina refinada en los mercados, provocando una disminución en su precio de venta y, por ende, un desincentivo en lograr glicerina de alta pureza que siga abasteciendo dichos mercados.

Lo anterior, ha llevado a una búsqueda de usos alternativos que permitan utilizar la glicerina en su estado crudo, disminuir costos y utilizar un sub-producto que viene en aumento. Así por ejemplo, el área de Biodiesel de la Universidad de Idaho (EE.UU.) está realizando pruebas de uso de glicerina en digestores anaeróbicos para, de esta manera, utilizar la fuente de carbono de la glicerina como sustrato en la digestión anaeróbica de materia orgánica.

Por otro lado, se cree que el uso de glicerina como combustible alternativo tiene grandes ventajas debido a su fácil manipulación y poder calorífico, de esta manera plantas cementeras en EEUU y Canadá ya estarían reemplazando combustibles fósiles por quema de residuos, aceites usados, plásticos, sub-productos agrícolas, y glicerina de la producción del biodiesel, entre otros productos⁷.

Dado dichos antecedentes a nivel internacional, el presente estudio consideró la utilización de glicerina como combustible alternativo en una planta cementera nacional, reemplazando carbón bituminoso como combustible fósil. Se recomienda realizar pruebas de laboratorio y ver la normativa ambiental pertinente, y de esta manera, comprobar que las emisiones al aire por quema de glicerina cumplan con la Resolución de Calificación Ambiental que le permite a la empresa cementera considerada quemar combustibles líquidos alternativos. Por otro lado, la empresa cementera deberá evaluar las condiciones y transformaciones técnicas pertinentes para ver la viabilidad de este supuesto.

⁷ <http://www.ttiionline.com/stdf.htm>

13.1.7 Transporte de biodiesel

Una vez terminada la etapa de transformación, se consideró el traslado del biodiesel a la ciudad de Santiago, donde se realizará la mezcla con diesel A antes de su comercialización final.

Se asumió como escenario base de comercialización de biodiesel la ciudad de Santiago por ser una ciudad con altos índices de contaminación y por ser la ciudad donde más combustible se comercializa, donde se distribuirá a centros minoristas como estaciones de servicio o grandes clientes cuya demanda lo justifique.

Según el estudio "La industria de los combustibles líquidos: El caso de Chile" (Arellano y Valdés, Ediciones Universidad Católica de Chile, 2006), el 39% del Diesel que se vende en el país se comercializa en Santiago, y solamente el 5% en Temuco (zona cercana a la producción de biodiesel).

En base a las proyecciones de la Universidad Técnica Federico Santa María, y utilizando los porcentajes de distribución indicados en el estudio de Arellano y Valdés, la demanda de Diesel en Santiago para el año 2008 sería de 1.779.779 m³, mientras que en Temuco sería aproximadamente de 217.082 m³.

Indudablemente Santiago es donde existe la mayor demanda de combustibles, por lo que se asumió la realización de la mezcla en Santiago y su posteriormente comercialización en la Región Metropolitana, pudiendo extenderse a ciudades de alta demanda de diesel como Valparaíso/Viña del Mar (549.042 m³) en la zona central, o Concepción (320.995 m³) por el sur.

Para el transporte de biodiesel entre la planta de transformación y el centro de mezcla (Santiago), se utilizó una distancia promedio de 587,38 km, considerando como referencia la producción de biodiesel en la ciudad de Ercilla. Se asumió un transporte terrestre, vía camiones diesel (mayores referencias ver capítulo 16 de Producción Electricidad, Gas Natural y Modelo de transporte).

Se elaboraron cuestionarios específicos para esta etapa del estudio, los cuales fueron enviados a los principales actores relevantes, por tema, en el país, y se revisó bibliografía internacional. El cuestionario elaborado se envió a diferentes actores con relevancia y conocimiento en el proceso.

Tabla 28. Principales interlocutores contactados durante el ICV.

Tema	Nombre Interlocutor	Institución
Producción de Biodiesel	José Corbella	Gea - Westfalia
	Robinson Betancourt	UFRO
Uso Glicerina, principal residuo planta biodiesel	Gustavo Chiang	Cementos Bio Bio
Producción de Aceite de Raps	Ivonne Hurtado	TRIO S.A..
Tecnologías asociadas a biocombustibles y ubicación de las plantas	Rodrigo Ortega	Universidad Técnico Federico Santa María
Modelo de localización de las plantas	Luis Acosta	
Consumos de insumos en la producción etanol y biodiesel	Roberto Muñoz	

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

13.2 Fuente de datos utilizados

En base a la revisión realizada, se seleccionaron fuentes bibliográficas para obtener los principales *inputs* y *outputs* de la etapa transformación de biodiesel (Tabla 29 y Tabla 30).

Tabla 29. Etapa Transformación: Principales *Inputs* – Datos Primarios.

Etapa Transformación		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Cantidades insumos industriales	Internacional	2007. Evaluación del Potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales". Universidad Técnica Federico Santa María. Santiago, Chile.
Cantidad de agua para el proceso		
Consumo Total de electricidad y gas natural utilizado para generar un litro de biocombustible		
Equivalente nutritivo Torta biodiesel / torta soya	Internacional	Tablas FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Tabla 30. Etapa Transformación: Principales *Outputs* – Datos Primarios.

Etapa Transformación		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Descargas aguas del proceso de biodiesel	Internacional	Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, Final Report, May 1998
Generación de residuos	Internacional	

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

La siguiente tabla muestra las fuentes secundarias utilizadas en el estudio, las cuales son parte de las bases de datos utilizadas y modeladas a través del software TEAM™.

Tabla 31. Datos secundarios utilizados durante la etapa transformación.

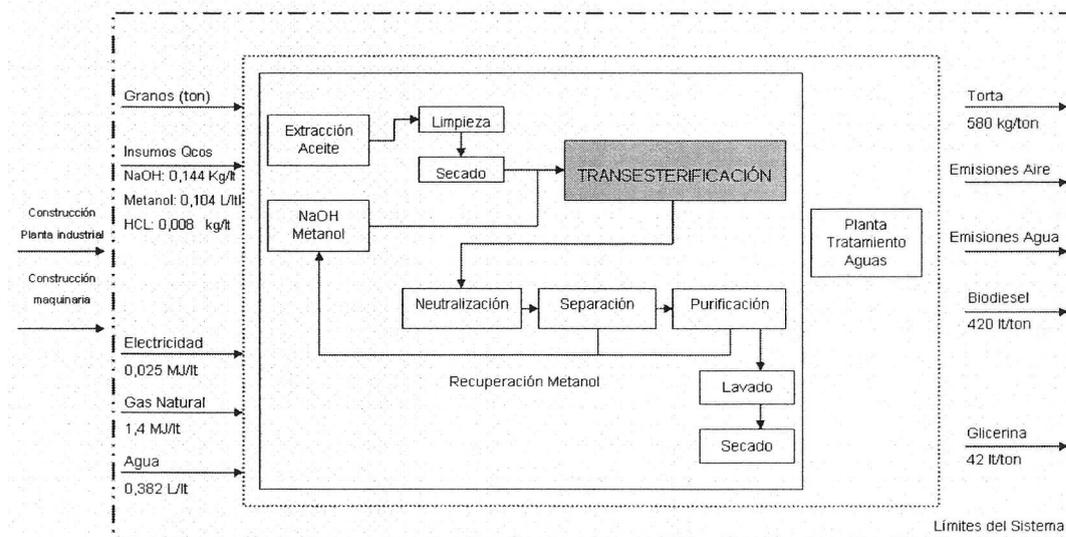
Etapa Transformación		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Producción de hidróxido de sodio	Internacional	Eco-profiles of the European plastics industry (APME)
Producción de metanol	Internacional	Ecobilan, 2004
Producción de ácido clorhídrico	Internacional	Ecobilan, 2004
Producción de soya	Internacional	Ecobilan en base a Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, Final Report, May 1998
Combustión gas natural	Internacional	Ecoinvent, 2004
Transporte por mar	Internacional	Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL)
Transporte por ruta	Internacional	Ecoinvent, 2004

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

13.3 Presentación de los datos

La figura 10 muestra los flujos considerados para la producción de biodiesel mediante la extracción de aceite de raps.

Figura 10. Esquema ACV Planta biodiesel de raps.



Fuente: PwC, en base a Estudio UTFSM, 2007.

13.3.1 Etapas de producción de biodiesel

A continuación se describen las principales etapas de la producción de biodiesel consideradas en el análisis.

1. **Recepción y Prensado:** Los granos de raps se reciben en la planta en cintas transportadoras y se secan haciéndolos pasar por una corriente de aire. Mediante el uso de filtros, se capturan partículas menores dejando los granos limpios y secos. Luego éstos pasan a una prensa donde, por fricción mecánica, se extrae el aceite contenido, se centrifuga para eliminar impurezas y se deja secar.
2. **Mezcla metanol y catalizador:** El catalizador utilizado es hidróxido de sodio (NaOH), pudiéndole utilizar un catalizador alcalino como el hidróxido de potasio. La mezcla se obtiene disolviendo, por medios mecánicos, el catalizador en el alcohol.
3. **Transesterificación:** Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol trivalente, el glicerol. Si el glicerol es reemplazado por metanol, se obtienen tres moléculas más cortas del ácido graso metiléster. El glicerol desplazado se recupera como un sub-producto de la reacción. Por lo tanto, en la reacción de transesterificación, una molécula de un triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol para formar tres moléculas de monoésteres y una de glicerina.

Una vez que la reacción está completa se generan el biodiesel, y como sub-producto, la glicerina. Cada uno contiene cantidades sustanciales del exceso de metanol usado en la reacción.

4. Neutralización y Separación: Se utiliza ácido clorhídrico para neutralizar la mezcla generada, de esta manera se inactivan cantidades menores del catalizador utilizado y jabones que se producen en el proceso.

La glicerina posee una densidad mayor al éster metílico (1,26 kg/L versus 0,88 kg/L), por lo que las dos fases pueden ser separadas por gravedad, simplemente extrayendo la glicerina desde el fondo del contenedor. Un proceso de centrifugado puede ayudar a separar los materiales más rápidamente. La glicerina separada y neutralizada es almacenada como glicerina cruda.

5. Purificación del biodiesel crudo: El biodiesel obtenido es purificado para extraer restos de catalizador, metanol y jabones generados en la reacción. Para ello se lava con agua, se seca y se almacena para su posterior utilización.

Paralelamente al proceso, se consideró una planta de tratamiento primaria de aguas para cumplir con la normativa nacional, no teniendo mayores antecedentes de la necesidad de realizar tratamientos posteriores. Esta planta de tratamiento permitirá la remoción de sólidos insolubles como arena y materiales como grasas y espuma.

13.3.2 Generación biodiesel y sub-productos

La siguiente tabla indica las cantidades de biodiesel y los sub-productos obtenidos al utilizar una tonelada de raps.

Tabla 32. Rendimientos por tonelada de materia prima.

Producto	Raps
Biodiesel (m ³ /ton)	0,42
Torta seca (kg/ton)	580
Glicerina (m ³ /ton)	0,042

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

La glicerina generada para los fines de este estudio contiene un 80% de pureza, por lo que se consideró la energía asociada a tales procesos.

Por otro lado, se consideró la utilización de torta seca de raps como sustituto de harina de soya para alimentación animal. La siguiente tabla indica la equivalencia entre ambos alimentos.

Tabla 33. Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos.

	Harina de Raps	Harina de Soya
Contenido proteico	37,9%	44%
Digestibilidad para rumiantes	84%	91%
Equivalente entre Harina de raps (1 Kg) y soya	1	0,80

Fuente: FEDNA, 2003.

De esta manera la torta de raps comercializado en Chile reemplaza la producción de harina de soya en Argentina, generando un impacto evitado de la producción de soya, la cual considera las emisiones de la etapa agrícola, consumo de agua y residuos generados.

13.3.3 Consumo de agua, energía e insumos

La siguiente tabla indica las cantidades energía, insumos y agua necesarios para producir un litro de biodiesel.

Tabla 34. Requerimientos de insumos para la producción de biodiesel.

Insumos	Raps
Gas natural (MJ/L)	1,4
Electricidad (kWh/L)	0,025
Metanol (L/L)	0,104
Hidróxido de Sodio (kg/L)	0,144
Ac. Clorhídrico (kg/L)	0,008
Agua (L/L)	0,3822

Fuente: Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

Al igual que para la generación de etanol, la producción y procedencia de los insumos es modelada en el software TEAMTM. Para asociar el impacto ambiental del transporte de dichos insumos desde su lugar de producción hasta su lugar de utilización, se estimaron las distancias promedio para cada uno de ellos.

Todos los insumos considerados para la producción de biodiesel son producidos localmente, por lo que solamente se incorporó su transporte hasta la planta de transformación.

Tabla 35. Distancias consideradas en transporte de insumos para producción de etanol.

Insumo	Ciudad de Origen	Ciudad de Destino	Km. recorridos
Hidróxido de Sodio	Talcahuano	Ercilla	214,8
Ac. Sulfúrico	Talcahuano	Ercilla	214,8
Metanol	Punta Arenas	Ercilla	2.720

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Para los casos de hidróxido de sodio y ácido sulfúrico, se consideró transporte terrestre vía camiones. Para el caso del Metanol, se consideró transporte en barco desde Punta Arenas a Talcahuano y luego una trayectoria vía camión hasta la ciudad de Ercilla.

13.3.4 Principales emisiones consideradas

Emisiones al aire

Emisiones de combustión gas natural

Las emisiones consideradas en esta etapa son las provenientes de la combustión del gas natural. El cálculo de las emisiones consideradas se basa en módulos de quema de gas natural proveniente de Ecoinvent, 2004.

Emisiones evitadas por sustitución de glicerina por carbón

Como ejercicio teórico, para el presente estudio se calcularon las emisiones de CO₂ evitado al sustituir un porcentaje de combustible fósil por glicerina proveniente de la producción de biodiesel.

En este estudio no se consideraron las otras emisiones provenientes de la quema de glicerina, por no encontrarse referencias específicas de su quema en hornos cementeros ni emisiones asociadas. Respecto a las emisiones de CO₂ producto de la combustión de la biomasa en el horno, se consideraron igual a la cantidad que será captada durante la fotosíntesis, y por ello son consideradas neutras.

Al comparar los poderes caloríficos inferiores de la glicerina (0,0163 Gj/Kg) y el carbón bituminoso (0,02931 Gj/Kg), se obtiene que 1 Kg de glicerina reemplaza 0,56 Kg de carbón bituminoso.

En el estudio se consideraron además, las emisiones evitadas por no producir carbón bituminoso. En total, se consideraron las emisiones de la no producción de carbón y la no quema en un horno cementero, de esta manera, la incorporación de glicerina como combustible alternativo en una planta cementera, desplaza 22,6 Kg CO₂ por kilogramo de glicerina utilizado.

Emisiones al agua

El agua utilizada en todo el proceso de producción de biodiesel termina en una planta interna de tratamiento. Las emisiones consideradas se basan en información confidencial Ecobilan de plantas de producción de biodiesel en Europa.

13.4 Calidad de los datos

Para la etapa de elaboración del biodiesel, se ocuparon datos bibliográficos internacionales dado la ausencia de plantas de gran tamaño operando en Chile. Se trata de datos coherentes con el tamaño de planta y el desarrollo tecnológico considerado en el presente estudio. En general, son datos promedios que se relacionan al funcionamiento de diferentes plantas en Europa y Estados Unidos.

14 Producción de gasolina y diesel

Para elaborar el ACV del diesel y de la gasolina consumida en Chile, el presente estudio se basó, en gran parte, en la información entregada por ENAP (Empresa Nacional del Petróleo) de sus dos mayores plantas de refinación a nivel nacional: Aconcagua y Bio Bio. Además, con el fin de completar en algunos aspectos la información proporcionada por ENAP, se utilizó información de refinerías europeas de características y tamaño similares.

14.1 Principales hipótesis de trabajo

14.1.1 Ubicación

La refinería de Aconcagua está ubicada en la comuna de Concón (V Región) mientras que la refinería Bío Bío se encuentra ubicada en San Vicente (VIII Región). Las refinerías de Aconcagua y Bío Bío son las dos mayores plantas de refinación a nivel nacional y totalizaron una producción global el año 2006 de más de 13 millones de m³ de combustibles y productos derivados.

14.1.2 Aspectos tecnológicos y tamaño

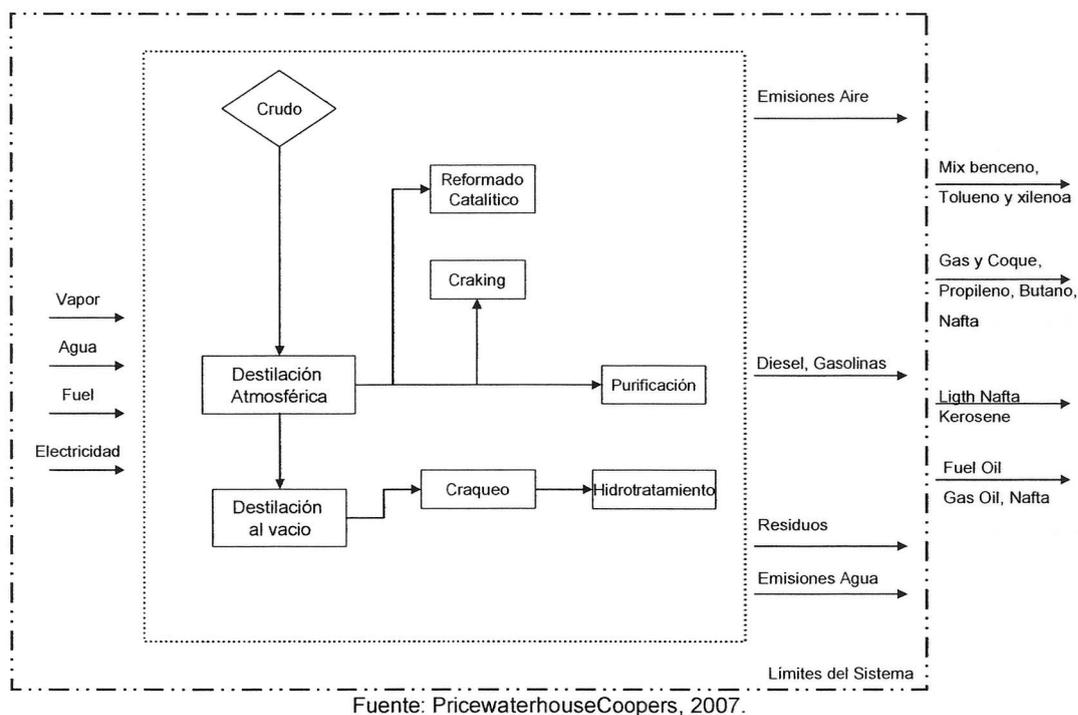
Para las refinerías de Aconcagua y Bío Bío, el petróleo crudo llega en buques tanques de distinto tamaño a los puertos de Quintero y San Vicente respectivamente, donde se recibe en estanques para luego bombearlos por oleoductos hacia las refinerías. Dichos transportes por oleoducto (menos de 20 Km) fueron considerados despreciables en el presente estudio.

El crudo que ingresa a la refinería es desalado y enviado a los hornos de topping, donde se calienta para pasar a la columna de fraccionamiento, donde por efecto del equilibrio líquido vapor y la existencia de un gran número de platos, se pueden extraer distintas corrientes de hidrocarburos que pueden enviarse a estanques para su mezcla o *blending* final, o enviarse a plantas de conversión, como *Cracking Catalítico*, *Hydrocracking*, Hidrotratamientos, Alquilación, Reformación, petroquímicas, *Visbreaker*, *Coker*, etc, que tienen por objeto modificar las propiedades físico-químicas de las corrientes, para producir productos de mejor calidad y valor.

El almacenamiento tanto del crudo como de los productos se realiza en estanques de acero, de distinta forma, sometidos a distintas condiciones de presión y temperatura de acuerdo a las características de cada combustible.

Los productos refinados limpios (gasolina, diesel, kerosene, gas licuado) se envían por oleoductos o camiones a los centros de consumo, con terminales en Maipú, San Fernando, Linares, Chillán; y por barcos a los puertos de norte y sur del país. Para el presente estudio, en los casos de la gasolina y del diesel, se consideró un transporte por oleoducto hacia el centro de consumo final ubicado en Santiago.

Figura 11. Proceso tipo para la refinación de crudo.



14.1.3 Descripción del sistema

Dentro de la etapa de refinación, todos los procesos asociados a la producción de gasolina y diesel fueron considerados en el presente estudio.

Los combustibles fósiles considerados son gasolina 93 octanos sin plomo, por ser la más comercializada y representativa en el país, y diesel A por ser el diesel que ENAP comercializará en todo el país para el año 2010, fecha cercana a la potencial utilización de biocombustibles en el país. Por consiguiente, en el caso del diesel, se consideraron únicamente los datos relacionados a la refinación de Aconcagua puesto que la refinación de Bío Bío no produce diesel A. Para la gasolina 93 octanos, se consideraron los impactos ambientales asociados a cada una de la refinación ponderando dichos impactos según la producción de cada una.

14.1.4 Reglas de asignación

Varios productos resultan del proceso de refinación tales como: gasolina, diesel, petróleo combustible, kerosene, nafta, butano, propano, entre otros. La asignación de los flujos de entrada y salida fue realizada de acuerdo a sus contenidos energéticos, tomando en cuenta los contenidos energéticos de las gasolinas 93 producidas en las dos refinaciones y el contenido energético del diesel A producido en la refinación Aconcagua.

A continuación, se indican las cantidades y contenidos energéticos de los principales productos elaborados en el caso de cada una de estas refinaciones.

Tabla 36. Cantidades y contenidos energéticos por productos para la refinería de Aconcagua.

Productos	Producción total en 2006 en Kg	Contenido energético en MJ/Kg	Energía en MJ	Alocación energética en %
Petróleos combustible				
Fuel Oil 5	15.562.555	43,70	680.083.654	0,30%
IFO 180	38.280.403	43,60	1.669.025.571	0,73%
IFO 380	952.138.152	43,60	41.513.223.427	18,04%
Fuel Oil 6	753.609.844	43,30	32.631.306.245	14,18%
BUTANO	140.235.474	49,81	6.985.128.960	3,04%
PROPANO	68.645.535	50,65	3.476.896.348	1,51%
Gasolina base	162.272.054	42,00	6.815.426.268	2,96%
Gasolina 88 a 91 octano	27.466.215	42,80	1.175.554.002	0,51%
Nafta	11.314.800	48,14	544.694.472	0,24%
Gasolina de Aviación	6.838.267	44,40	303.619.055	0,13%
Kerosene Aviación	398.550.074	43,20	17.217.363.197	7,48%
Kerosene Doméstico	30.929.250	43,20	1.336.143.600	0,58%
Diesel especial	11.890.125	42,70	507.708.338	0,22%
Diesel Marino	12.943.422	42,70	552.684.119	0,24%
Propileno	20.176.460	40,19	810.891.927	0,35%
Gas oil	560.280	42,00	23.531.760	0,01%
Sub total	2.651.412.910		116.243.280.942	
Gasolina 93	638.143.484	42,80	27.312.541.115	11,87%
Gasolina 95	145.111.224	42,80	6.210.760.387	2,70%
Gasolina 97	526.259.587	42,80	22.523.910.324	9,79%
Diesel A	368.767.567	45,50	16.778.924.299	7,29%
Diesel B	905.415.348	45,30	41.015.315.264	17,83%
Total	5.235.110.120		230.084.732.331	

Fuente: PwC, en base a información proporcionada por ENAP, 2007.

Tabla 37. Cantidades y contenidos energéticos por productos para la refinería de Bío Bío.

Productos	Producción total en 2006 en Kg	Contenido energético en MJ/Kg	Energía en MJ	Alocación energética en %
Petróleos combustible				
Fuel Oil 5	-	-	-	-
IFO 180	40.997.956	40,96	1.679.276.278	0,7%
IFO 380	193.551.372	40,83	7.902.702.519	3,4%
Fuel Oil 6	758.679.400	40,65	30.840.317.610	13,3%
BUTANO	145.251.389	49,00	7.117.318.061	3,1%
PROPANO	57.661.796	50,14	2.891.162.451	1,2%
Gasolina base	120.555.519	42,00	5.063.331.798	2,2%
Gasolina 88 a 91 octano	285.959.835	42,80	12.239.080.938	5,3%
Nafta	34.645.800	48,14	1.667.848.812	0,7%
Kerosene Aviación	212.095.740	43,25	9.173.140.755	4,0%
Kerosene Doméstico	26.847.416	43,24	1.160.882.268	0,5%
Diesel especial	169.950.333	42,70	7.256.879.219	3,1%
Etileno	70.118.672	41,32	2.897.303.527	1,3%
Propileno	107.968.740	40,19	4.339.263.661	1,9%
Gas oil	73.845.240	42,00	3.101.500.080	1,3%
Coke (TM)	176.400.000	35,71	6.299.244.000	2,7%
Sub Total	2.474.529.208		103.629.251.977	44,7%
Gasolina 93	460.469.016	43,81	20.173.147.591	8,7%
Gasolina 95	212.970.261	43,67	9.300.411.298	4,0%
Gasolina 97	217.615.872	43,63	9.494.580.495	4,1%
Diesel A	-	-	-	-
Diesel B	2.076.404.611	42,86	88.994.701.627	38,4%
Total	5.441.988.968		231.592.092.988	

Fuente: PwC, en base a información proporcionada por ENAP, 2007.

14.2 Proceso de recopilación de los datos

Se recopiló información respecto a la extracción, transporte y refinación del crudo, los insumos requeridos y los productos generados. Para tales efectos se envió un cuestionario a ENAP y se revisó bibliografía nacional e internacional.

La cantidad de crudo importado y lugar de procedencia, la cantidad de gasolina 93, 95 y 97 octanos, diesel A1 y B y otros compuestos generados por las refinerías de Aconcagua y Bio Bio, así como los poderes caloríficos de los productos y densidades, fueron proporcionados por ENAP.

Respecto a la generación de residuos, el consumo de combustibles, el consumo de electricidad y las emisiones al aire y al agua, se utilizan datos proporcionados por ENAP resguardando la confidencialidad de los mismos y se complementaron algunos parámetros con datos de instalaciones europeas de refinación de tamaño y características similares.

14.3 Fuentes desglosadas de los datos por tipo

En base a la revisión realizada, se seleccionaron fuentes bibliográficas para obtener los principales entradas y salidas de la etapa producción de combustibles fósiles. Las siguientes tablas indican las principales fuentes consultadas.

Tabla 38. Principales *Inputs* – Datos Primarios.

Etapa Producción Combustibles fósiles		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Cantidad de crudo importado y lugar de procedencia.	Nacional	ENAP
Cantidad de Gasolina 93, 95 y 97 octanos; Diesel A1 y B; y otros compuestos generados en Chile y su poder calorífico		
Consumo de combustible y de energía eléctrica		
Consumo de agua por tipo		

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Tabla 39. Principales *Outputs* – Datos Primarios.

Etapa Producción Combustibles fósiles		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Emisiones al aire proceso de refinación crudo (principalmente CO ₂ , CO, NO _x , N ₂ O, CH ₄ , MP, SO _x)	Nacional	ENAP
Otras emisiones al aire del proceso de refinación crudo	Internacional	Información confidencial de instalaciones europeas de refinación de tamaño y características similares
Emisiones al agua por proceso de refinación crudo (principalmente sólidos suspendidos, hidrocarburos, aceites, fenoles, sulfuros)	Nacional	ENAP
Otras emisiones al agua proceso de refinación crudo.	Internacional	Información confidencial de instalaciones europeas de refinación de tamaño y características similares
Generación residuos por tipo	Nacional	ENAP

Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

La siguiente tabla indica los datos secundarios utilizados.

Tabla 40. Datos secundarios utilizados durante la Producción Combustibles Fósiles.

Etapa Producción Combustibles fósiles		
Tipo de datos	Origen	Fuente
Extracción de crudo	Internacional	Ecoinvent, 2004
Transporte marítimo	Internacional	Ecoinvent, 2004
Producción gas natural	Internacional	Ecoinvent, 2004

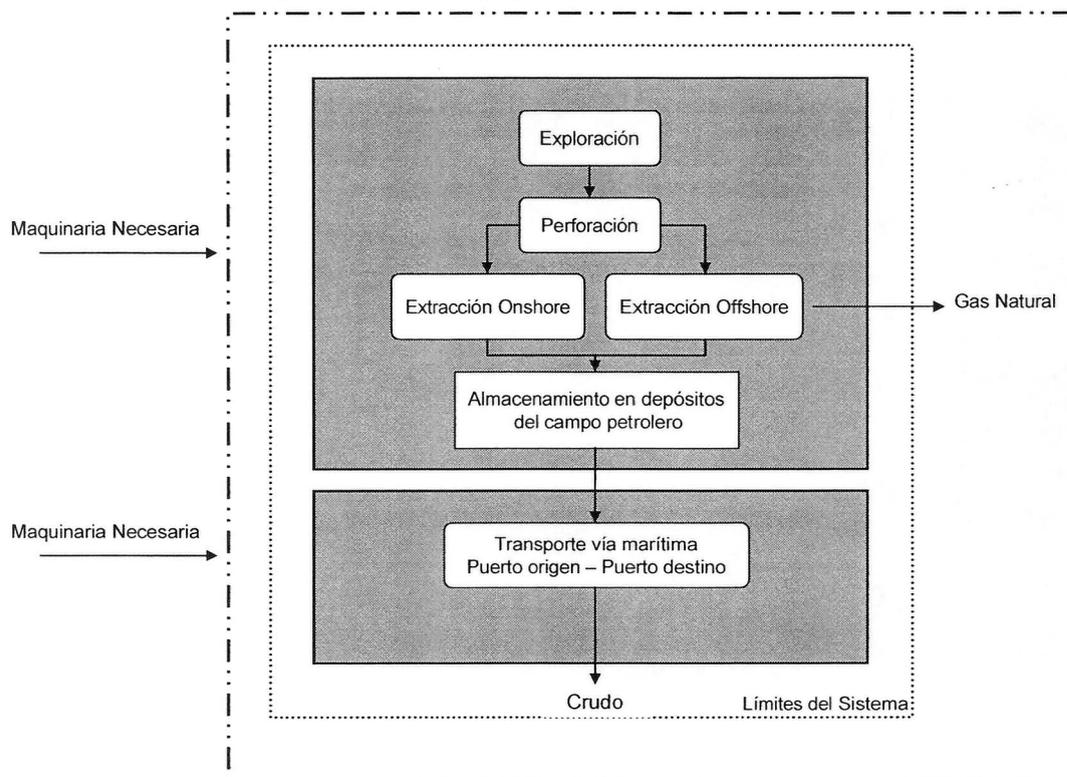
Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

14.4 Presentación de los datos

14.4.1 Extracción del crudo

La casi totalidad del crudo refinado en Chile corresponde a petróleo crudo importado de distintos países y continentes, en mayoría América Latina y África. Alrededor del 2% es directamente extraído en la XII Región de Magallanes gracias a una red de pozos petroleros desarrollada entre 1950 y 1985 aproximadamente.

Figura 12. Proceso tipo para la extracción de crudo.



Fuente: PricewaterhouseCoopers, 2007.

Para el presente estudio, se consideraron los impactos ambientales asociados a la extracción del petróleo en Nigeria debido a la falta de datos disponibles en países Latinoamericanos donde ENAP opera o compra crudo. Sin embargo, los impactos asociados a la extracción del crudo en dicho país pueden ser considerados como representativos dado que 37% del crudo comprado por ENAP proviene de África y 10% de Nigeria. Además, en el caso nigeriano, se contempla un mix entre plataformas de extracción marina y terrestre, situación similar al sistema operativo de ENAP.

La siguiente tabla indica la procedencia del crudo utilizado por ENAP en sus plantas de refinación.

Tabla 41. Procedencia del petróleo crudo comprado por ENAP durante el año 2006.

Pais	Sitios de refinación	Total (Ton.)	Tipo plataforma de Extracción
Angola	Girasol	282.653	Marino
	Hungo	391.989	Marino
	Kissange	526.801	Marino
	Nemba	488.284	Marino
	Palanca	912.428	Marino
	Total Angola	2.602.155	
Nigeria	Amenam	305.496	Marino
	Antan	125.899	Terrestre
	Escravos	515.661	Terrestre
	EHRA	131.168	Marino
	Total Nigeria	1.078.225	
Argentina	Área Mag. Sipetrol	250.024	Marino
	BRM-Magallanes	5.930	Marino
	Cañadon Seco	445.904	Terrestre
	Escalante	244.508	Terrestre
	Hidra	147.260	Marino
	Poseidon (SIP)	28.666	Marino
	Recon	34.834	Terrestre
	Roch	43.415	Terrestre
	Santa Cruz	245.561	Terrestre
	Sauces	57.976	Terrestre
	Total Argentina	1.504.078	
Brasil	Albacora	259.186	Marino
	Bijupira	512.201	Marino
	Marlim	1.390.036	Marino
	Roncador	817.994	Marino
	Total Brasil	2.979.417	
Congo	Nkossa	240.780	Terrestre
Gabón	Lucina	64.354	Terrestre
Tailandia	Benchamas	167.296	Marino
Colombia	Cusiana	114.701	Terrestre
Ecuador	Oriente Ecuatoriano	1.292.014	Terrestre
Perú	Loreto	831.457	Terrestre
	Total Varios	2.710.601	
	TOTAL	10.874.476	

Fuente: ENAP, 2007.

14.4.2 Principales consumos y emisiones

Los datos recopilados están relacionados a los siguientes aspectos: generación de residuos, consumo de agua, consumo de combustible, consumo de energía eléctrica, emisiones al aire y emisiones al agua.

Todos estos datos fueron obtenidos de ENAP, sin embargo, en el caso de las emisiones al aire y al agua, dichos datos fueron complementados con información proveniente de instalaciones de refinación de tamaño y características similares en Europa debido a la ausencia de mediciones a nivel nacional para ciertos parámetros.

14.5 Calidad de los datos

Para la etapa de refinación de los productos petroleros, se ocuparon mayoritariamente datos nacionales entregados por ENAP. Se constata que algunos parámetros contemplados en estudio del tipo ACV y que son relativos a emisiones al aire y al agua no se miden en Chile por ser datos bastante específicos.

15 Uso final de los combustibles estudiados

15.1 Proceso de recopilación de los datos

Para el presente estudio, tanto para el caso del etanol como del biodiesel, se ocupan datos internacionales de mediciones de emisiones asociadas a la combustión de la gasolina y del diesel en un vehículo. Existe en Chile el Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV) que realiza mediciones y maneja una base de datos respecto de los vehículos homologados a nivel nacional con series históricas de mediciones.

Los parámetros medidos son CO, HC, NOx y MP, sin embargo, no existen todavía en el 3CV resultados definitivos asociados a la medición en condiciones locales de biocombustibles. Durante los meses de junio y julio del 2007, se realizaron pruebas específicas con biodiesel en el 3CV. Dichos resultados no se encontraban disponibles al momento de procesar los datos del presente estudio.

15.2 Fuente de datos utilizados

15.2.1 Etanol

Para el etanol y la gasolina, el estudio se basó en los resultados de un estudio publicado por el IDIADA en el año 2003 denominado "*Comparison of vehicle emissions at European Union annual average temperatures from E0 and E5 petrol*", Repsol YPF, Abengoa Energía, CEPSA and Ebro Puleva. Se trata de uno de los estudios más completos en la materia, específicamente en relación a una mezcla E5 que es en general poco abordada en este tipo de estudio.

En dicho estudio, se realizaron mediciones para E0, E5 y E85 de una Renault Megane 1,6 litros con un kilometraje de 3.413 Km al empezar los primeros tests. Cabe mencionar que este modelo es el segundo modelo más vendido en Chile en su segmento M1/hatchback en mayo 2007⁸. Su rendimiento para E0, E2 y E5 es respectivamente de 13,69; 13,51 y 13,42 kilómetros por litro. Los rendimientos E0 y E5 fueron obtenidos por literatura mientras que el E2 fue estimado por regresión lineal.

La gasolina ocupada en dicho estudio es una gasolina comercializada en España en las estaciones de servicio Repsol YPF. La mayoría de las características de dicha gasolina cumplen también con los valores límites previstos por la norma chilena.

⁸ Información proporcionada por la Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G.(ANAC)

Tabla 42. Características de los combustibles considerados en el estudio IDIADA en comparación con la normativa chilena.

Composición	Unidades	Características combustibles (Fuente estudio IDIADA)		Normativa chilena Nch 64 Of 95 para gasolina 93 sin plomo (Fuente ENAP)
		E0	E5	Gasolina 93
Aromáticos	% volumen	39,8	37,8	max 35
Olefinas	% volumen	11,8	11,2	max 35
Azufre	mg/kg	148	140	max 400
Benceno	% volumen	1	0,95	max 2
Corrosión lámina de Cobre		1A	1A	max 1
Densidad (15 °C)	Kg/m ³	749,1	751,2	-
Destilación 70 °C	% volumen	30,2	38,6	10% (max 70 grados)
Destilación 100 °C	% volumen	53,9	56	50% (max 121 grados)
Destilación 150 °C	% volumen	89,9	90,3	90% (max 190 grados)
Punto de ebullición final (FBP)	°C	185,3	183,8	max 225
Residuos	% volumen	1,2	1	max 2
Goma	mg/100ml	2	1,6	max 5
MTBE	% volumen	0,3	No determinado	Informar
ETBE	% volumen	4	No determinado	-
Oxígeno total	% peso	0,6	2,5	max 2
MON (<i>motor octane number</i>)		85	85,5	Informar
RON (<i>research octane number</i>)		96,6	97,7	min 93
Periodo de inducción	Minutos	360	>360	-
Plomo	g/l	0,001	0,001	max 0,013
Presión de Vapor Reid	kPa	75,8	82,7	max 86 (mayo – sept)

Fuente: PwC, 2007 en base a información de estudio IDIADA 2003 y datos de ENAP 2006.

De la tabla anterior se aprecia que en la mayoría de los componentes analizados, los valores utilizados como referencia para la gasolina E0 y la mezcla E5 cumplen con los valores límites previstos por la norma chilena. Para los indicadores: compuestos aromáticos, puntos de destilación y oxígeno total, los valores utilizados como referencia sobrepasan levemente la normativa nacional, sin embargo, los valores empleados son referenciales en base a la información disponible y no representan un incumplimiento de la normativa nacional vinculada.

15.2.2 Biodiesel

Para el biodiesel y el diesel, el presente estudio se basó los resultados de un estudio publicado el año 2006 por el NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) de los Estados Unidos, denominado "*Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions, Fiscal Year 2006 Annual Operating Plan*", (R.L. McCormick, A. Williams, J. Ireland, M. Brimhall, and R.R. Hayes). Se trata de un estudio reciente en la materia que se enfoca más específicamente en el estudio de una mezcla de B20 de un biodiesel de soya. De acuerdo a la revisión bibliográfica efectuada, existen muy pocos antecedentes en estudios

internacionales de carácter público de mediciones con biodiesel de raps, por lo que se consideró esta alternativa al ver que los parámetros de rendimiento y posteriores emisiones son similares.

La siguiente tabla indica las características del vehículo utilizado para las mediciones de mezcla 20% biodiesel y 80% diesel.

Tabla 43. Características del camión utilizado para mediciones de biodiesel.

Vehículo testado	International Class 8
Año Manufactura Vehículo	Ene-06
Fabricante Motor	Cummins
Peso	64.000 Kg
Rendimiento	10,8 L
Año Manufactura Motor	2005
Modelo Motor	ISM 330
Tipo Transmisión	Eaton 10spd Mecánico
HP	330
Tipo Diesel Testeado	Local LSD C
Mezcla Biodiesel Soya	20%

Fuente: PwC, 2007, en base a estudio del NREL 2006.

Las mediciones se realizaron en un ciclo tipo autopista (“freeway”). Su rendimiento para B0, B2 y B5 es respectivamente de 2,29, 2,29 y 2,28 kilómetros por litro. Los rendimientos de B0 y B20 fueron obtenidos a partir del estudio del NREL mientras que B2 y B5 fueron estimados por regresión lineal.

El diesel ocupado en dicho estudio es un diesel cuyas características técnicas cumplen también con los valores previstos por la norma chilena, con la única excepción del número de cetanos del combustible utilizado como referencia, el cual es tres puntos inferior al mínimo exigido en la normativa nacional, sin embargo, tal diferencia no influye en los resultados obtenidos. La siguiente tabla indica las características del combustible considerado en el estudio NREL en comparación con la normativa chilena.

Tabla 44. Características del combustible base en comparación con la normativa chilena.

Propiedades Combustible diesel	Unidad	LSD C	Requisito NCh 62 Of. 2000 (Fuente ENAP)
Destilación 90% recuperado	°C	316	max 338
Punto de inflamación	°C	58	min 52
Corrosión lámina de cobre	N°	1a	max 2
Viscosidad a 40°C		2,382	max 4,1 y min 1,9
Cenizas	% (m/m)	<0,001	max 0,01
Carbón residual (Ramsbottom)	% (m/m)	0,13	max 0,21
Número de cetano	N°	47	min 50
Total Azufre, ppm		304	-
Agua y sedimento	% vol	0,01	max 0,1
Aromáticos totales	% (m/m)	23,8	max 35
Número ácido	mg KOH/gramo	<0,05	-

Fuente: PwC, 2007, en base a estudio del NREL, 2006.

15.2.3 Centro de mezcla

Para objetos del presente estudio, se entenderá como centro de mezcla al lugar o recinto donde se realizará la mezcla de los biocombustibles obtenidos (etanol / biodiesel) con los combustibles fósiles (gasolina 93 octanos / diesel A) en proporciones de un 2% o 5%. Por otro lado, se entenderá como centro de consumo al lugar donde se distribuirán las mezclas obtenidas para el consumo del usuario final (clientes).

Se consideró que la mezcla de los biocombustibles con los combustibles fósiles se iba a realizar en un centro de consumo ubicado en Santiago que tenga las características necesarias para realizar este tipo de operación en acuerdo con los requerimientos legales. El transporte del biocombustible se realiza vía terrestre desde la planta de elaboración hacia el centro de consumo, mientras que el combustible fósil se transportará por oleoducto hasta el mismo centro de mezcla ubicado en Santiago (terminal de Maipú).

15.3 Presentación de los datos

15.3.1 Etanol

La Tabla 45 señala las emisiones del vehículo considerado en el presente estudio para la combustión de etanol y gasolina según diferentes proporciones.

Tabla 45. Emisiones medidas y estimadas para combustión de etanol y gasolina.

Compuesto	E0	E5	E2
	IDIADA (g/km)	IDIADA (g/km)	ESTIMACION (g/km)
HCT	0,150	0,130	0,142
HCNM	0,145	0,125	0,137
CH ₄	0,008	0,008	0,008
CO	0,980	0,920	0,956
NO _x	0,046	0,046	0,046
NO	0,027	0,029	0,028
NO ₂	0,001	0,008	0,003
N ₂ O	0,025	0,012	0,020
SO ₂	0,016	0,016	0,016
CO ₂	174,89 (169,36)	175,69 (161,35)	175,210 (166,1)
Materia Particulado	Na	na	na
Ethanol	0,000	0,000	0,000
1-3 Butadiene	0,000	0,000	0,000
Benceno	0,001	0,001	0,001
Tolueno	0,004	0,003	0,003
Etilbenceno	0,001	0,002	0,001
M + P Xilenos	0,007	0,007	0,007
O Xilenos	0,001	0,001	0,001
Formaldehido	0,002	0,001	0,001
Acetaldehido	0,001	0,001	0,001
Acetona + Acroleine	0,000	0,000	0,000
Propanal	0,000	0,000	0,000
Crotonal	0,000	0,000	0,000
2-Butanone	0,000	0,000	0,000
Metacroleine	0,000	0,000	0,000
Butanal	0,000	0,000	0,000
Benzaldehido	0,000	0,000	0,000

Fuente: PwC, 2007, en base a estudio de IDIADA 2003.

Dado que el estudio del IDIADA posee información para E0 y E5, a través de un análisis de regresión lineal, se modelaron y estimaron las emisiones para el caso de E2.

Los rendimientos E0 y E5 fueron obtenidos por literatura mientras que el E2 fue estimado por regresión lineal.

Las emisiones de CO₂, entre paréntesis indican las emisiones que provienen de la fracción fósil de la mezcla (gasolina).

15.3.2 Biodiesel

A continuación se presentan las emisiones del vehículo considerado en el presente estudio, las cuales fueron estimadas en base a los resultados para B20. En el caso de las emisiones de CO₂ entre paréntesis, se tratan de las emisiones que provienen de la fracción de diesel en la mezcla y se han considerado como CO₂ fósil.

Tabla 46. Emisiones medidas y estimadas para combustión de biodiesel y diesel.

Compuesto	B0	B20	B2	B5
	NREL gr/km	NREL gr/km	ESTIMACIÓN gr/km	ESTIMACIÓN gr/km
PM	0,14	0,09	0,13	0,12
NOx	4,22	4,31	4,23	4,24
CO	1,33	1,14	1,31	1,28
CO ₂ fósil	1.187,50	1.173,75 (977,31)	1.186,13 (1.166,48)	1.184,06 (1.134,95)
HCT	0,32	0,28	0,32	0,31

Fuente: PwC, 2007, en base a estudio del NREL, 2006.

15.4 Calidad de los datos

Los datos de mediciones considerados en el presente estudio provienen de estudios internacionales recientes y reconocidos. Sin embargo, en el caso del biodiesel, los resultados ocupados consideran un biocombustible producido con soya y no con raps en la ausencia de datos disponibles. Hasta la fecha de cierre del presente proyecto, no había en Chile mediciones específicas de la combustión asociada al uso de los biocombustibles en condiciones locales.

16 Producción electricidad, gas natural y modelo de transporte

A continuación se presentan los modelos utilizados para la producción de electricidad y el transporte terrestre en el estudio. Dichos modelos se ocupan para todas las sub etapas del ciclo de vida que requieran electricidad o algún transporte terrestre dentro del estudio.

16.1 Producción de electricidad en Chile

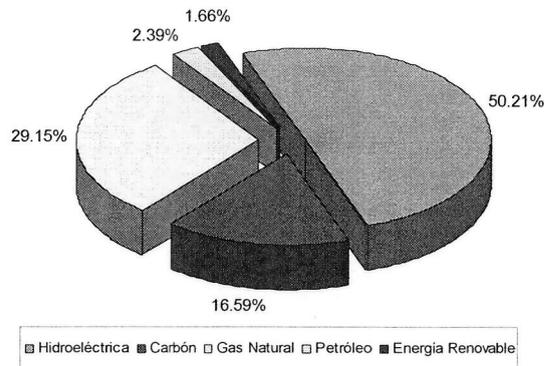
Tabla 47. Generación Bruta de Electricidad en Chile, durante el año 2005.

ENERGÉTICO CENTRALES	GWh
HIDRÁULICAS	25.575,5
Embalse	16.084,5
Pasada	9.491,0
TÉRMICAS	25.355,1
Carbón	8.449,1
Gas Natural	14.848,2
petróleo	1.217,7
Biomasa	840,1
EÓLICAS	6,8
TOTAL	50.937,4

Fuente: CDEC: SING - SIC, EDELMAG, EDELAYSEN, elaborado por CNE, 2006.

El siguiente gráfico indica las participaciones de las diferentes fuentes de energía en la generación de electricidad en la matriz Chilena durante el año 2005.

Figura 13. Participación combustibles en la generación de electricidad en Chile, año 2005.



Fuente, PwC, en base a CNE.

16.2 Producción de gas natural

El presente estudio consideró la producción de gas natural. Para ello se utilizaron los módulos elaborados por Ecoinvent actualizados el año 2004:

- “Combustión gas natural bajo en NOx”, este modulo incluye tanto la combustión como la producción del gas natural.
- De la etapa de refinación, se utilizó un modulo específico de producción de gas natural dado que las emisiones asociadas a la combustión del gas natural ya estaban consideradas en los valores recopilados de las refinerías de ENAP.

16.3 Transporte

Dado que 2/3 del consumo de diesel de un camión es independiente de la carga del camión, el consumo de diesel para el transporte de una cantidad dada de material, es obtenido con la siguiente formula:

$$\text{Combustible} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Consumo específico}} \times \left[\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \left(\frac{\text{Carga actual}}{\text{Carga máxima}} \right) + \frac{2}{3} \text{ Retorno Vacío} \right] \times \frac{\text{Peso}}{\text{Carga actual}}$$

Donde:

- **Distancia:** en km.
- **Consumo específico:** Consumo de diesel del camión (en km/litro).
- **Carga actual:** Carga actual del camión (en kg).
- **Carga máxima:** Carga máxima del camión (en kg).
- **Retorno Vacío:** Retorno del camión (1 = si; 0 = no)
- **Peso:** Peso del material

Los datos utilizados para modelizar la combustión del diesel en un camión provienen de la base de datos ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) Zurich, (1996).

Para las etapas dentro del ACV que utilicen transporte de insumos vía terrestre, se asumió el uso de camiones, como escenario más pesimista. Sin embargo, dado que de existir un escenario más favorable que considere vías de transporte más eficientes, el impacto ambiental será menor al evaluado.

SECCION V – Indicadores de Impacto Ambiental

En esta sección se señala la interpretación de los resultados para los indicadores ambientales considerados en el estudio con el objeto de comparar el escenario de los biocombustibles con el de los combustibles fósiles por etapas y, de esta manera, identificar las sustancias que contribuyen más a los indicadores de impacto ambiental considerados.

De acuerdo a la norma ISO 14.044, la interpretación de los resultados es la fase en que se combinan los hallazgos del análisis del inventario en forma consistente con el objetivo y el alcance del estudio a fin de llegar a conclusiones y recomendaciones.

Cabe recordar que los siguientes resultados fueron obtenidos en base a las hipótesis de trabajo y datos presentados anteriormente en el presente informe, y validados por el comité técnico conformado. Dichos elementos fueron recopilados entre los meses de febrero y junio 2007, por lo que los resultados y conclusiones del presente estudio están basados en dichos antecedentes.

Además, es importante recalcar, que los resultados para el etanol y el biodiesel NO son comparables dado que se consideraron vehículos diferentes (vehículo liviano para el caso del etanol y vehículo pesado para el biodiesel), lo que influyó en el rendimiento de combustible para cada caso.

Para cada indicador de impacto ambiental, se presentan tres gráficos: etanol de maíz (VII Región), etanol de trigo (VIII Región) y biodiesel de raps (IX Región) desglosados por 100% combustible fósil (E0, B0), y mezclas de un 2 y 5% (E2, B2 y E5, B5).

Los gráficos y tablas que se presentan a continuación están dados en base a la unidad funcional del estudio, es decir, indica las emisiones asociadas a recorrer **un kilómetro** en vehículo según las especificaciones mencionadas con anterioridad.

A continuación se presentan los indicadores ambientales más utilizados en este tipo de análisis (mayores referencias ver capítulo 10).

17 Contribución al efecto invernadero (100 años), GEI, en gr. eq CO₂

La contribución a los Gases de efecto Invernadero (GEI) es sin dudas uno de los indicadores más observados dado la relevancia que ha tomado este tema en los últimos años.

Se observa que durante el ciclo de vida del combustible, alrededor del 70% de las emisiones de CO₂ fósil equivalente se genera durante la etapa de combustión en vehículos. Las emisiones de CO₂ fósil son también significativas para las etapas de extracción y de refinación de crudo.

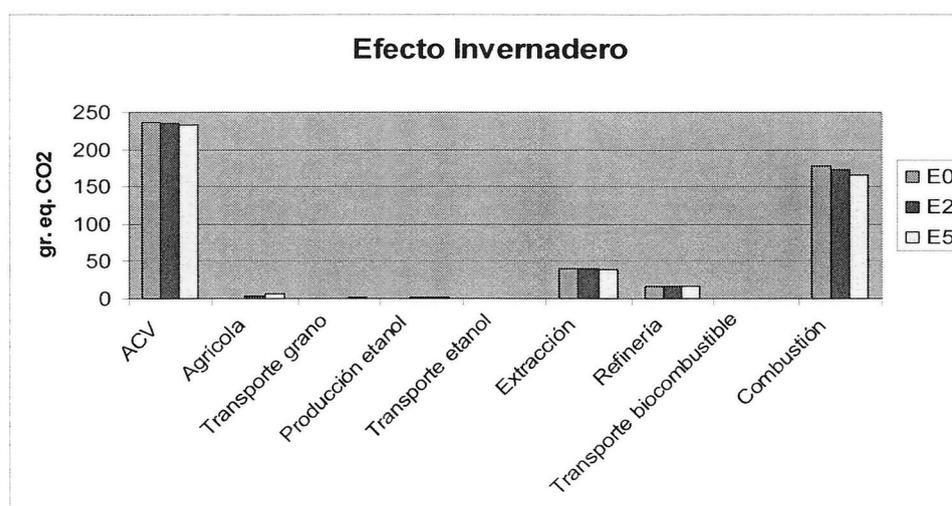
Para los escenarios de E2 y E5, así como también para B2 y B5, las emisiones de la etapa agrícola y de transformación del etanol / biodiesel contribuyen poco al efecto invernadero, sin embargo, se aprecia una contribución de N₂O emitido por el uso de fertilizantes. También se asocian emisiones de N₂O a la etapa de transformación provienen de la combustión del gas.

También cabe mencionar que tanto para el etanol de trigo y maíz como para el biodiesel de raps con incorporaciones de 2 y hasta 5% de biocombustible, se nota una leve mejora a nivel ambiental al emitir menos gases de efecto invernadero.

Dependiendo de la estrategia país en el tema de Cambio Climático, el indicador efecto invernadero será relevante para cuantificar el efecto asociado a las emisiones de GEI producto de los biocombustibles y combustibles fósiles, no solo en nuestro país, sino a nivel mundial. De esta manera, la comercialización de biocombustibles y, por ende, la baja en las emisiones de CO₂ fósil, podrá ser un aporte en materia de considerar el problema del cambio climático como una responsabilidad de todos los actores involucrados.

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador efecto invernadero para los distintos escenarios considerados.

17.1 Etanol de Trigo

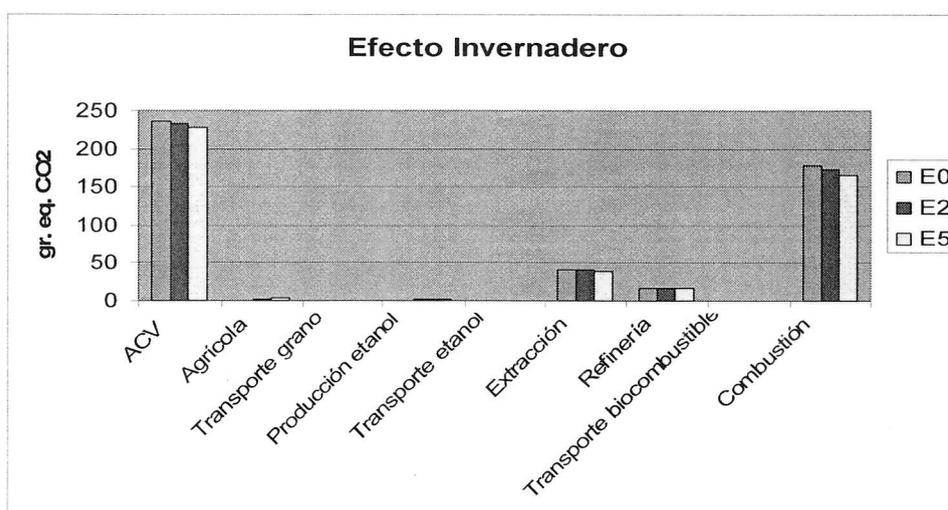


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla, se presentan las principales sustancias que más contribuyen al efecto invernadero total (en el anexo 26 se presentan todas las sustancias consideradas por los indicadores utilizados).

	gr. eq CO ₂		
	E0	E2	E5
IPCC-Gases de Efecto Invernadero (100 años)	236,304	235,348	232,947
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	211,796	211,325	210,129
(a) Metano (CH ₄)	16,983	16,964	16,720
(a) Óxido Nitroso (N ₂ O)	7,500	7,018	6,033
(a) Otros	0,025	0,041	0,065

17.2 Etanol de Maíz

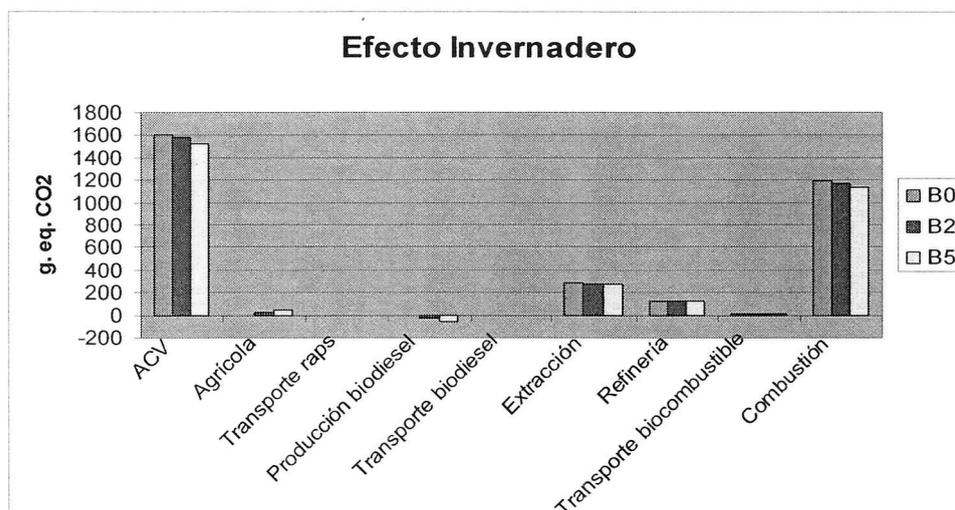


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla, se presentan las principales sustancias que más contribuyen al efecto invernadero para la producción de etanol de maíz:

	gr. eq CO ₂		
	E0	E2	E5
IPCC-Gases de Efecto Invernadero (100 años)	236,304	233,587	228,510
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	211,796	209,890	206,514
(a) Metano (CH ₄)	16,983	16,925	16,622
(a) Óxido Nitroso (N ₂ O)	7,500	6,742	5,337
(a) Otros	0,025	0,030	0,037

17.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

Para el caso de biodiesel, cabe recordar que se considera un impacto evitado en emisiones de CO₂ por sustitución de carbón bituminoso por glicerina en un horno cementero (ver sub capítulo 13.1.6), lo cual produce para el caso B2 y B5, una contribución positiva al evitar la generación de CO₂ en la etapa de producción de biodiesel.

En la siguiente tabla, se presentan las principales sustancias que más contribuyen al efecto invernadero:

IPCC-Gases de Efecto Invernadero (100 años)	gr. eq CO ₂		
	B0	B2	B5
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ , fósil)	1.491,05	1.454,79	1.400,14
(a) Metano (CH ₄)	117,69	116,20	113,95
(a) Óxido Nitroso (N ₂ O)	0,22	5,75	14,17
(a) Otros	0,17	0,22	0,33

18 Acidificación del aire, en gr. eq H+

Las emisiones de SOx y NOx que se observan en las etapas agrícolas, extracción, refinación y combustión son los mayores contribuyentes a este impacto.

Durante la etapa agrícola, confluyen las emisiones provenientes de la quema de combustibles de las faenas agrícolas y la quema de rastrojos en el campo. Además, para E2, E5 y B2, B5, las emisiones de amoníaco relacionadas al uso de fertilizantes durante la etapa agrícola contribuyen a la acidificación del aire.

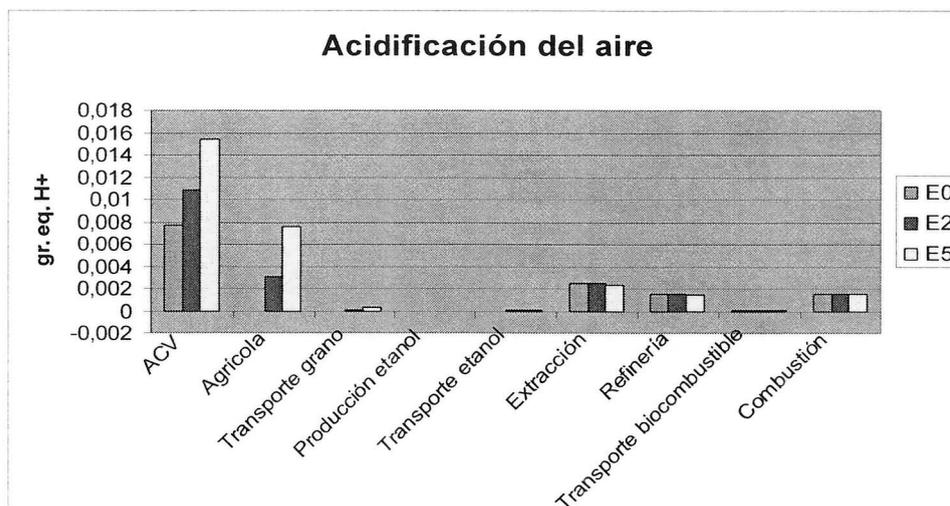
Además, cabe mencionar que, durante la etapa de combustión, en el caso del biodiesel, se nota un aumento mayor de NOx y SOx que para los casos de etanol.

Este indicador se presenta en gran medida en la etapa agrícola para el caso del etanol y muy fuertemente en la etapa combustión para el caso biodiesel. La importancia y los límites de emisiones permitidos dependerán de las normas existentes en cada caso, así entonces se considera prudente poder contar con mayores antecedentes que permitan determinar equivalencias en cada sector afectado.

Para el caso de la comercialización de biodiesel, se observa un aumento en las emisiones de NOx y SOx producto de la combustión, lo que contribuye negativamente a la descontaminación de Santiago.

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador acidificación del aire para los distintos escenarios considerados.

18.1 Etanol Trigo

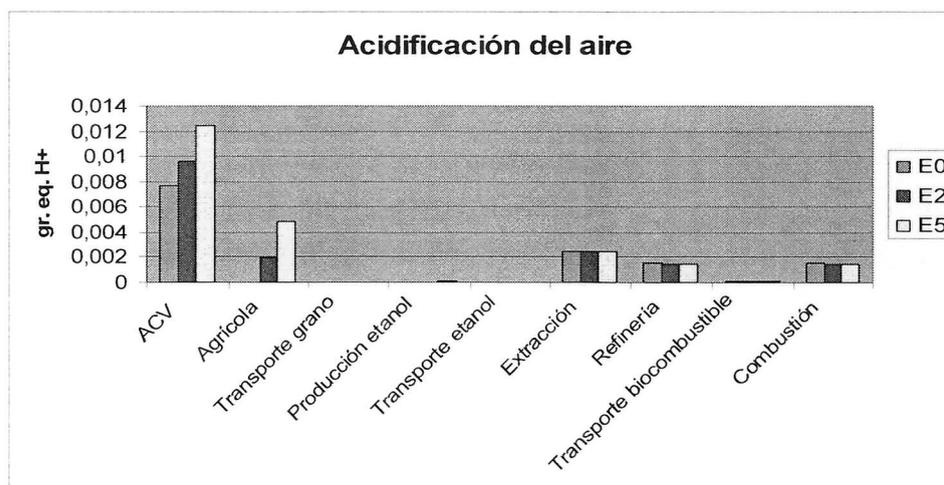


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

La siguiente tabla muestra las principales sustancias que contribuyen a la acidificación del aire para la producción de etanol en base a Trigo:

	gr. eq H ⁺		
	E0	E2	E5
CML-Acidificación del Aire	0,007696	0,010784	0,015417
(a) Amoníaco (NH ₃)	0,000267	0,002320	0,005442
(a) Dióxido de Nitrogeno (NOx como NO ₂)	0,004450	0,005210	0,006310
(a) Dióxido de Azufre (SOx como SO ₂)	0,002962	0,003233	0,003635
(a) Otros	0,000017	0,000021	0,000030

18.2 Etanol Maíz

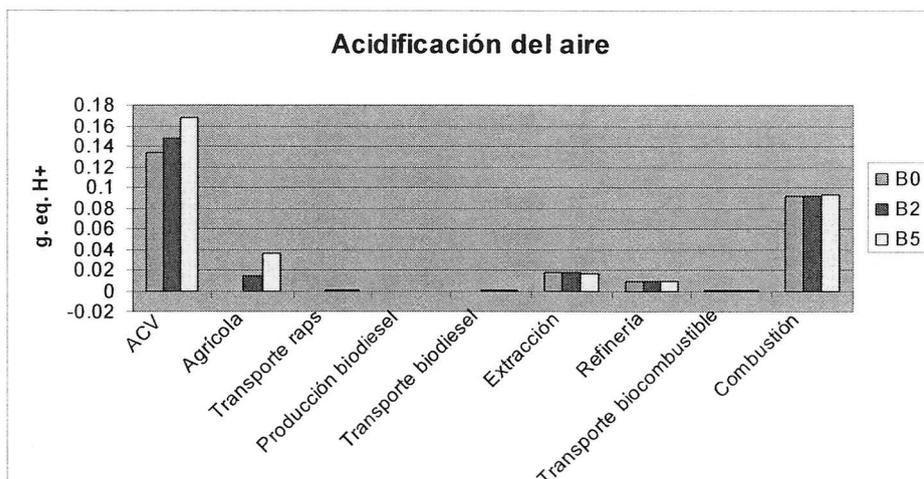


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla se presentan las principales sustancias que afectan este indicador:

	gr. eq H ⁺		
	E0	E2	E5
CML-Acidificación del Aire	0,007696	0,009609	0,012455
(a) Amoníaco (NH ₃)	0,000267	0,001750	0,003992
(a) Dióxido de Nitrogeno (NOx como NO ₂)	0,004450	0,004750	0,005160
(a) Dióxido de Azufre (SOx como SO ₂)	0,002962	0,003091	0,003278
(a) Otros	0,000017	0,000018	0,000025

18.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

A continuación se presentan las principales sustancias que afectan este indicador:

	gr. eq H+		
	B0	B2	B5
CML-Acidificación del Aire	0,133717	0,147372	0,168020
(a) Amoníaco (NH ₃)	0,001880	0,012900	0,029600
(a) Dióxido de Nitrogeno (NOx como NO ₂)	0,115072	0,116107	0,117572
(a) Dióxido de Azufre (SOx como SO ₂)	0,016655	0,018218	0,020597
(a) Otros	0,000110	0,000147	0,000251

19 Contaminación fotoquímica, en gr. eq Etileno

Alrededor del 84% de las emisiones fotoquímicas se generan durante la etapa de combustión en vehículos. El mayor contribuyente a este impacto son las emisiones de hidrocarburos no especificados.

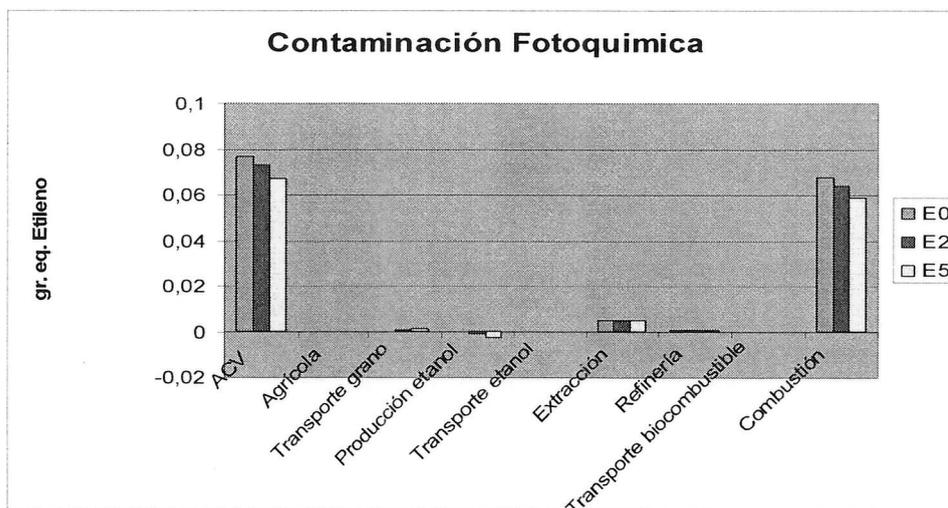
Durante la etapa de extracción, existen también emisiones de metano que contribuyen al indicador.

Los valores negativos que se observan para las mezclas de 2 y 5%, en la etapa de producción de biocombustibles (etanol trigo y maíz; biodiesel de raps), son la consecuencia de la sustitución de harina de soya por DDGS y/o torta de raps, que genera un impacto evitado.

Dependiendo de los intereses de las autoridades en el tema, este indicador será más significativo en aquellas ciudades donde exista un incremento importante en la contaminación atmosférica de la zona por gases tales como el CO, NOx y SOx. De esta manera, la comercialización de biocombustibles se justifica en una ciudad como Santiago, la cual posee un Plan de Descontaminación Atmosférico en ejecución, pudiéndose extrapolar a otras ciudades del país con problemas similares.

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador contaminación fotoquímica para los distintos escenarios considerados.

19.1 Etanol Trigo

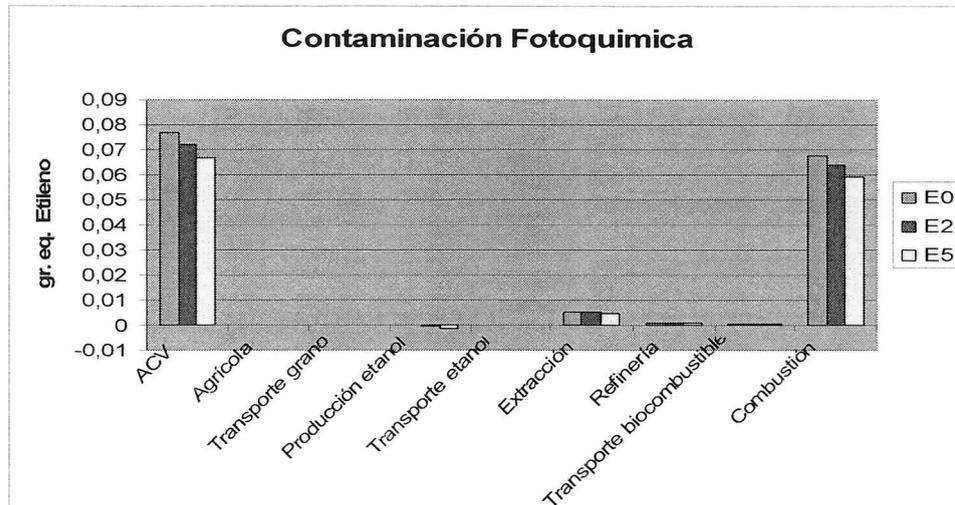


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

A continuación se presentan las principales sustancias que afectan este indicador:

	gr. eq Etileno		
	E0	E2	E5
WMO-Oxidación Fotoquímica	0,076646	0,072920	0,067197
(a) Hidrocarburos (menos Metano)	0,002983	0,002565	0,001892
(a) Hidrocarburos no especificados	0,056550	0,053347	0,048540
(a) Metano (CH ₄)	0,005168	0,005162	0,005088
(a) Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	0,002220	0,001943	0,001523
(a) Xileno (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	0,006583	0,006583	0,006573
(a) Otros	0,003142	0,003320	0,003581

19.2 Etanol Maíz

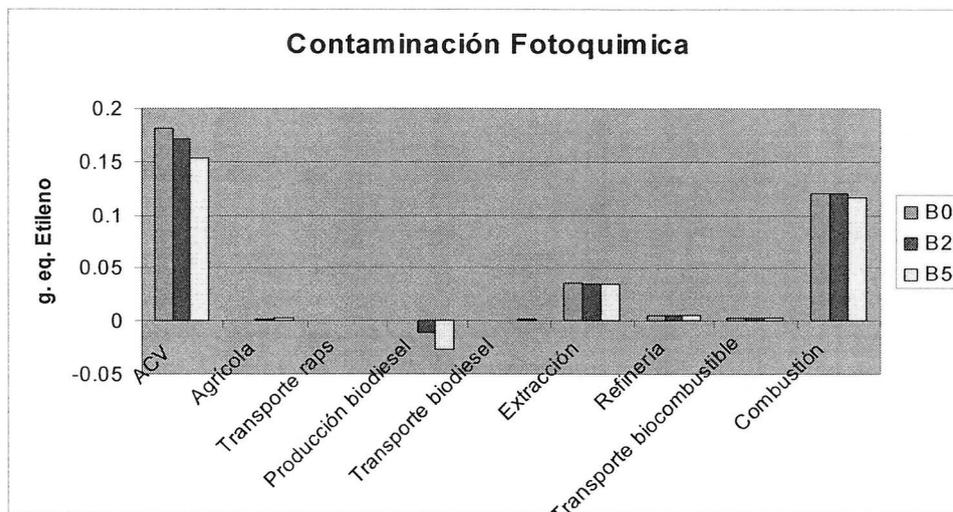


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla se presentan las principales sustancias que más contribuyen a la contaminación fotoquímica:

	gr. eq Etileno		
	E0	E2	E5
WMO-Oxidación Fotoquímica	0,076646	0,072078	0,066550
(a) Hidrocarburos (menos Metano)	0,002983	0,002321	0,001279
(a) Hidrocarburos no especificados	0,056550	0,053435	0,048762
(a) Metano (CH ₄)	0,005168	0,005151	0,005059
(a) Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	0,002220	0,001941	0,001518
(a) Xileno (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	0,006583	0,006583	0,006574
(a) Otros	0,003142	0,002647	0,003358

19.3 Biodiesel Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de 100% combustible fósil.

A continuación se presentan las principales sustancias que afectan este indicador:

	gr. eq Etileno		
	B0	B2	B5
WMO-Oxidación Fotoquímica	0,181798	0,171970	0,153268
(a) Hidrocarburos (menos Metano)	0,020569	0,011456	-0,002390
(a) Hidrocarburos no especificados	0,120642	0,119570	0,114170
(a) Metano (CH ₄)	0,035820	0,035367	0,034683
(a) Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	0,000050	0,000064	0,000085
(a) Otros	0,004717	0,005513	0,006720

20 Eutrofización de las aguas superficiales, en gr. eq PO₄

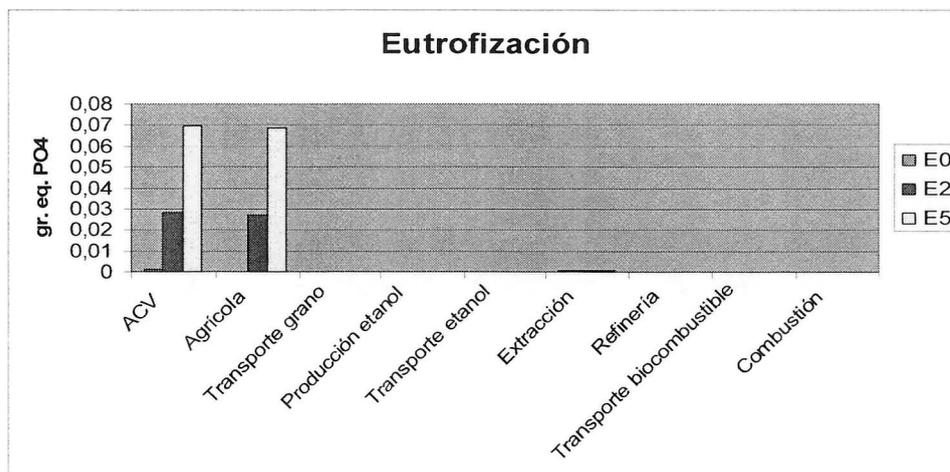
Los resultados del ACV indicaron que para mezclas de 2 y 5%, la etapa agrícola es la principal contribuyente a la eutrofización de las aguas producto de las elevadas cantidades de compuestos nitrogenados utilizados durante el cultivo del trigo. En la etapa de extracción del crudo, en menor medida, la Demanda Química del Oxígeno (DQO) contribuye a la eutrofización. No obstante, cabe mencionar que dado que, en el presente estudio, se han tomado en cuenta los impactos asociados a la extracción del crudo en Nigeria, los flujos contribuyentes a este indicador son bastante bajos comparado con otros países productores.

Para la etapa agrícola, en el caso de los tres cultivos, los nitratos y fosfatos son los mayores contribuyentes a este indicador, productos de la aplicación de compuestos nitrogenados en los fertilizantes aplicados.

Este indicador será relevante dependiendo de la capacidad de carga tolerante de una cuenca o acuífero, es decir, de la cantidad de contaminantes que un cuerpo de agua puede recibir sin que su carga contaminante exceda de un nivel prefijado. De esta manera, la cantidad de compuestos nitrogenados y fosfatados en las cuencas afectadas por las emisiones asociado a los fertilizantes empleados durante la etapa agrícola, podrán ser relevantes dependiendo de la capacidad de carga tolerante que se estimen en los cauces de aguas afectados.

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador eutrofización para los distintos escenarios considerados.

20.1 Etanol Trigo

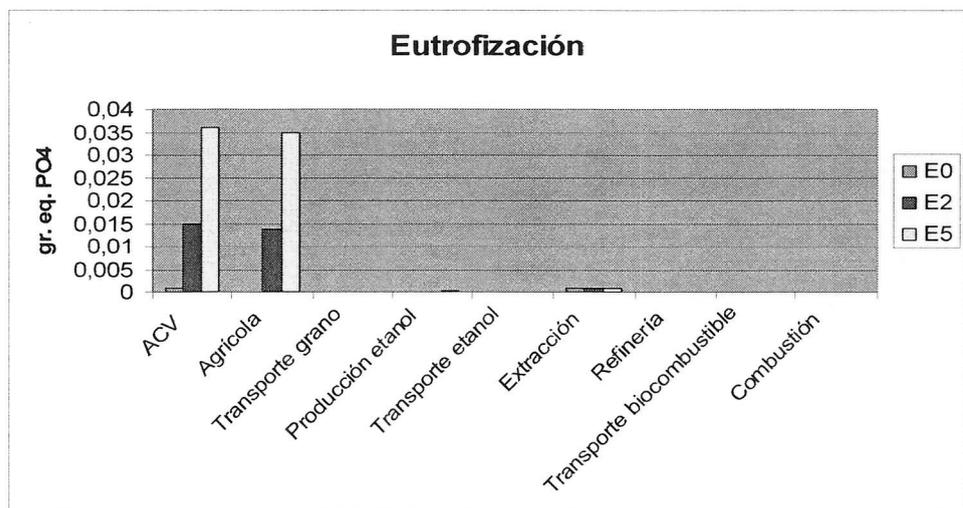


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla se presentan las principales sustancias que más contribuyen a la eutrofización:

CML-Eutrofización (en agua)	gr. eq PO ₄		
	E0	E2	E5
(w) Amonio, amoniaco (NH ₄ ⁺ , NH ₃ , como N)	0,000127	0,000167	0,000228
(w) DQO	0,000421	0,000551	0,000743
(w) Nitrato (NO ₃ ⁻)	0,000003	0,011503	0,028975
(w) Fosfatos (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , como P)	0,000343	0,015774	0,039211
(w) Otros	0,000023	0,000131	0,000291

20.2 Etanol Maíz

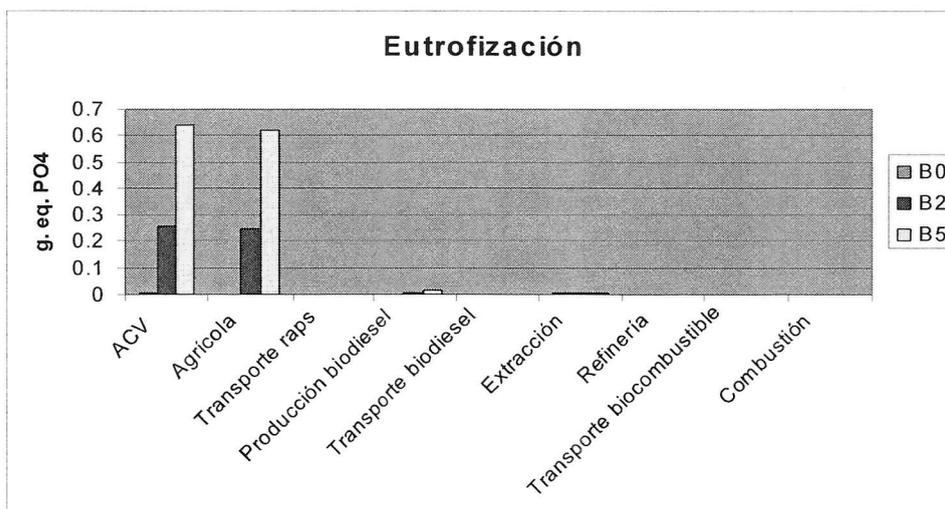


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

A continuación se presentan las principales sustancias que afectan este indicador:

CML-Eutrofización (en agua)	gr. eq PO ₄		
	E0	E2	E5
(w) Amonio, amoniaco (NH ₄ ⁺ , NH ₃ , como N)	0,000127	0,000162	0,000214
(w) DQO	0,000421	0,000477	0,000558
(w) Nitrato (NO ₃ ⁻)	0,000003	0,009186	0,023138
(w) Fosfatos (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , como P)	0,000343	0,004899	0,011818
(w) Otros	0,000023	0,000130	0,000287

20.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla se presentan las principales sustancias que más contribuyen a la eutrofización:

	gr. eq PO ₄		
	B0	B2	B5
CML-Eutrofización (en agua)	0,006430	0,257823	0,639923
(w) Amonio, amoniaco (NH ₄ ⁺ , NH ₃ , como N)	0,000891	0,001017	0,001208
(w) DQO	0,002950	0,003446	0,004199
(w) Nitrato (NO ₃ ⁻)	0,000018	0,100320	0,252772
(w) Fosfatos (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , como P)	0,002406	0,152643	0,380991
(w) Otros	0,000165	0,000397	0,000753

21 Toxicidad humana, en gr. eq. 1,4-DCB

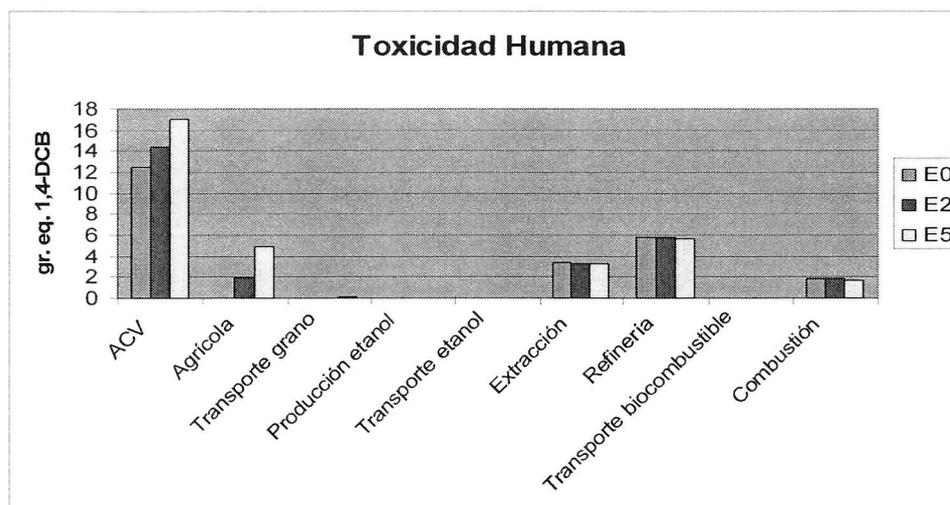
Los resultados del ACV indicaron que para E0, E2 y E5 las etapas de extracción y refinación de crudo son las principales contribuyentes al indicador de toxicidad humana. Se aprecia que la principal sustancia contaminante emitida es el níquel, siendo la etapa de refinación del crudo la más relevante para dichas emisiones.

Durante las etapas de combustión de las gasolinas y también de la etapa de refinación del crudo, se destaca la presencia de emisiones al aire de benceno, menos significativas en el caso de la producción de biodiesel.

Para los escenarios E2, E5 y B2, B5 el uso de diesel para la maquinaria durante la etapa agrícola y la etapa de extracción de crudo, provoca emisiones de Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C₁₂H₄Cl₄O₂).

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador toxicidad humana para los distintos escenarios considerados.

21.1 Etanol Trigo

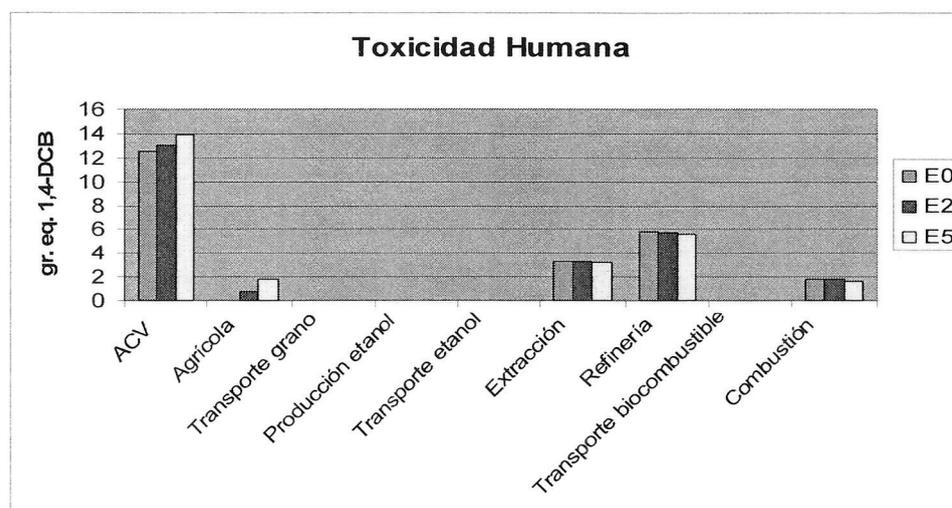


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

A continuación se presentan las principales sustancias que afectan este indicador:

CML2000-Toxicidad Humana	gr. eq. 1,4-DCB		
	E0	E2	E5
(a) Arsénico (As)	0,2177	0,3162	0,4630
(a) Benceno (C6H6)	2,4695	2,4194	2,3137
(a) Niquel (Ni)	5,4368	5,4750	5,4636
(a) Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C12H4Cl4O2)	1,3758	2,6296	4,5168
(a) Vanadio (V)	0,4005	0,4336	0,4786
(w) Bario (Ba++)	1,4344	1,4505	1,4565
(w) Benceno (C6H6)	0,2774	0,2805	0,2816
(w) Otros	0,8928	1,3663	2,0795

21.2 Etanol Maíz

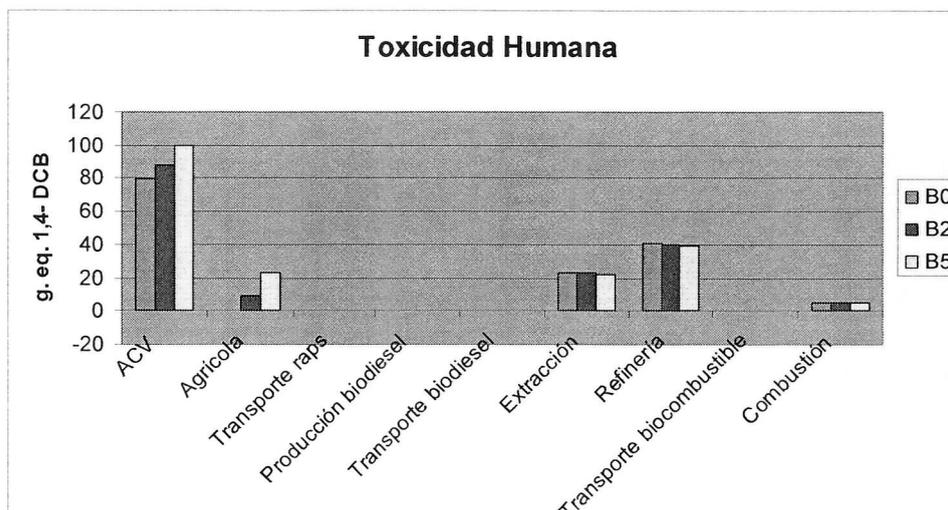


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla se presentan las principales sustancias que más contribuyen a la toxicidad humana:

CML2000-Toxicidad Humana	gr. eq. 1,4-DCB		
	E0	E2	E5
(a) Arsénico (As)	0,2177	0,2586	0,3179
(a) Benceno (C6H6)	2,4695	2,4078	2,2844
(a) Niquel (Ni)	5,4368	5,4434	5,3841
(a) Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C12H4Cl4O2)	1,3758	1,7694	2,3497
(a) Vanadio (V)	0,4005	0,4216	0,4485
(w) Bario (Ba++)	1,4344	1,4272	1,3979
(w) Benceno (C6H6)	0,2774	0,2663	0,2712
(w) Otros	0,8928	1,0883	1,3755

21.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

En la siguiente tabla se presentan las sustancias más significativas que contribuyen a la toxicidad humana para la producción y uso de biodiesel:

CML2000-Toxicidad Humana	gr. eq, 1,4-DCB		
	B0	B2	B5
(a) Arsénico (As)	1,4781	1,9468	2,6594
(a) Benceno (C6H6)	6,6661	6,6603	6,6525
(a) Niquel (Ni)	38,2267	38,1392	38,0111
(a) Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C12H4Cl4O2)	9,6460	14,7356	22,4728
(a) Vanadio (V)	2,7910	3,0024	3,3240
(w) Bario (Ba++)	10,0488	9,9260	9,7407
(w) Benceno (C6H6)	1,9432	1,9231	1,8929
(w) Otros	8,9936	11,5214	15,3641

22 Consumo de agua (L)

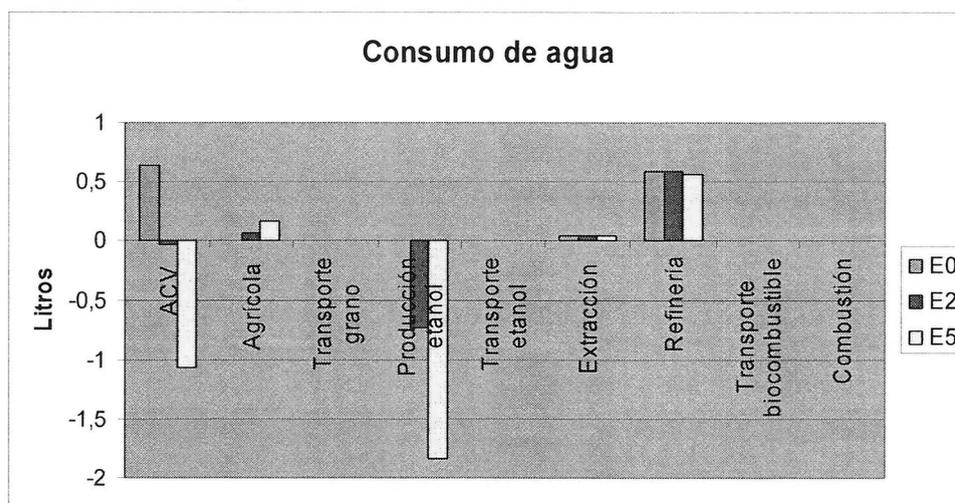
Los mayores consumos de agua se realizan durante las etapas agrícolas y de extracción y refinación del crudo.

Las diferencias en el consumo de agua entre los cultivos, se reflejan en que solamente se consideró riego para el maíz. Trigo y raps se modelaron bajo sistema de secano.

El consumo de agua de la etapa de transformación del etanol y biodiesel es negativo debido a la consideración de un impacto evitado por la sustitución de harina de soya por DDGS / torta, como alimentación animal (la soya es un cultivo muy demandante de agua, se consideró el consumo de 17 litros de agua por kg de soya producida). Como se mencionó en el informe, el impacto negativo del consumo de agua para la producción de biocombustibles NO es representativo para el escenario local, puesto que es un impacto evitado en el país de origen de la soya.

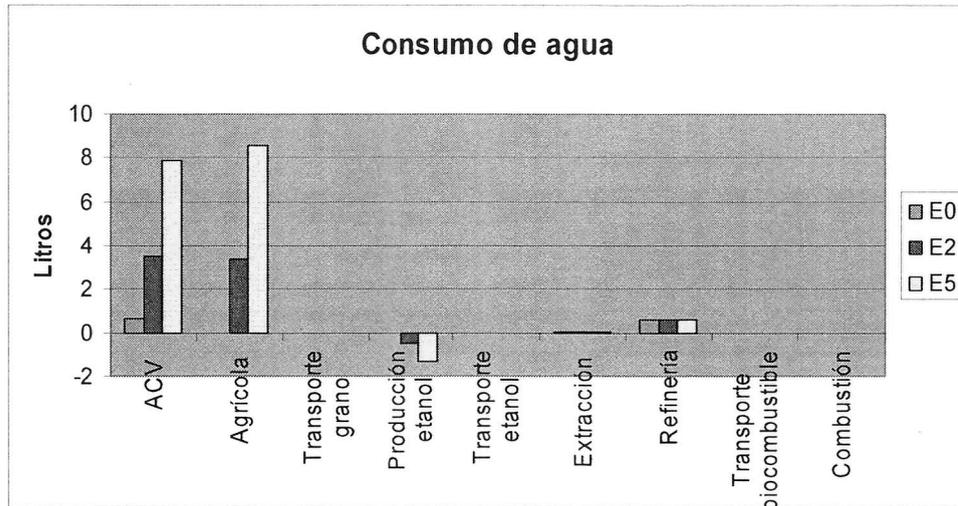
Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador consumo de agua para los distintos escenarios considerados.

22.1 Etanol Trigo



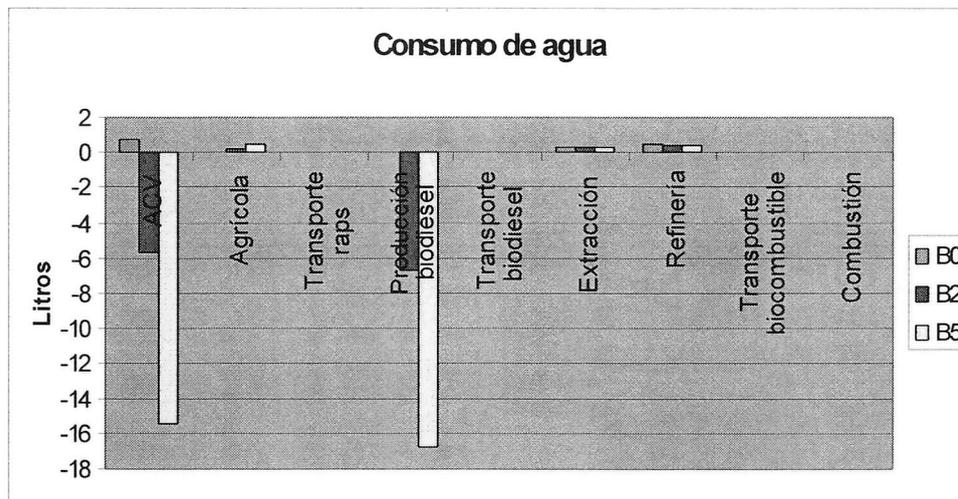
Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

22.2 Etanol Maíz



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

22.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

Bajo escenarios de escasez de agua, este indicador será muy relevante, pudiendo definir la viabilidad de un proyecto de biocombustibles. De esta manera, a futuro, si se extiende el uso de biocombustibles en zonas áridas, el indicador consumo de agua será un factor clave que habrá que considerar, promoviendo un mejor uso de las aguas y/o especies vegetativas de bajos consumos.

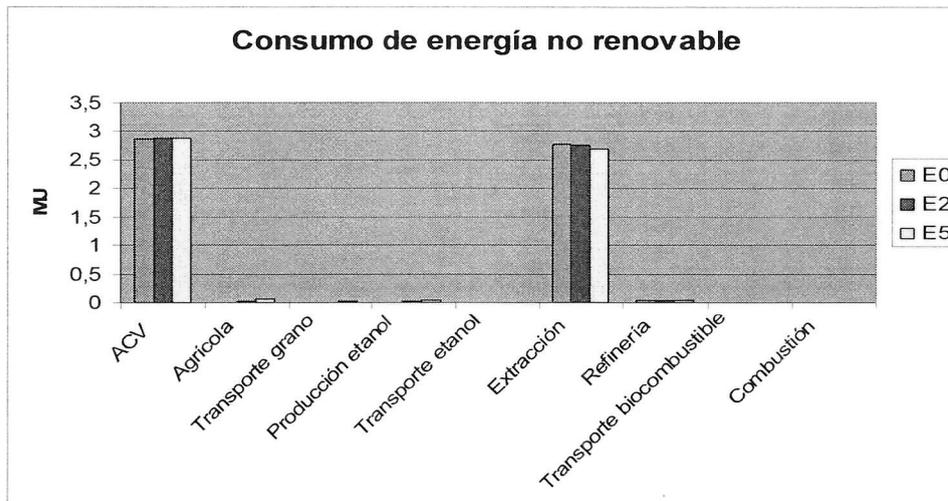
23 Consumo de energía no renovable (MJ)

La extracción de crudo es la etapa que más contribuye al consumo de energía por ser la etapa en la cual se extrae la energía de la tierra (*feedstock*). La energía primaria se compone de energía renovable y no renovable, para el presente estudio se decidió estudiar el indicador de energía no renovable (ver sub-capítulo 7.1.3).

Para mezclas de 2 y 5%, el consumo de energía no renovable a lo largo del ciclo de vida para recorrer un kilómetro es menor al escenario actual, salvo en el caso del etanol de trigo cuyo consumo energético durante la etapa de cultivo es más importante que en el caso del etanol de maíz por ejemplo, por poseer rendimientos menores.

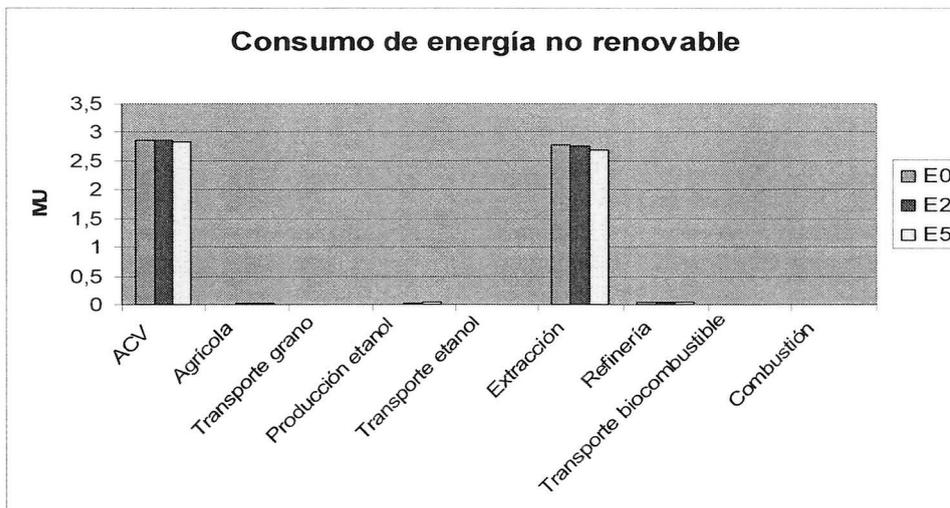
Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador consumo de energía no renovable para los distintos escenarios considerados.

23.1 Etanol Trigo



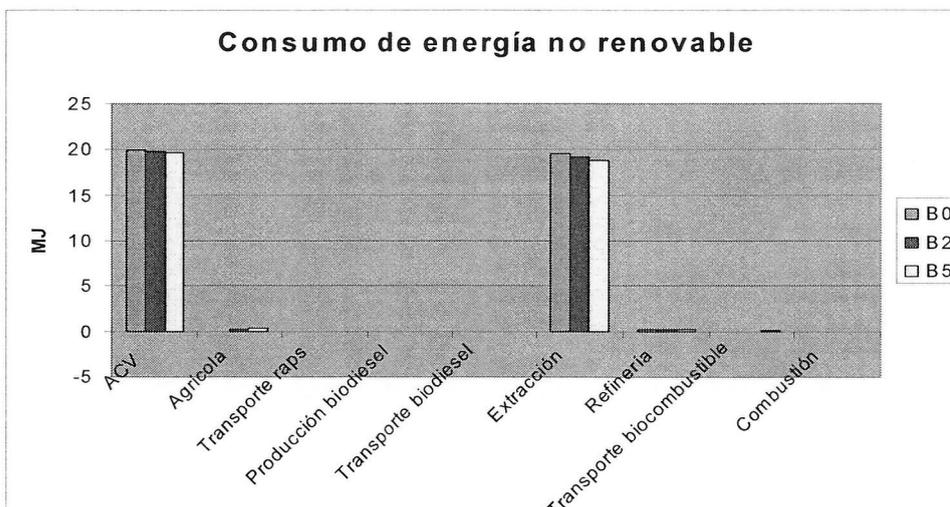
Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

23.2 Etanol Maíz



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

23.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

24 Generación de residuos (Kg)

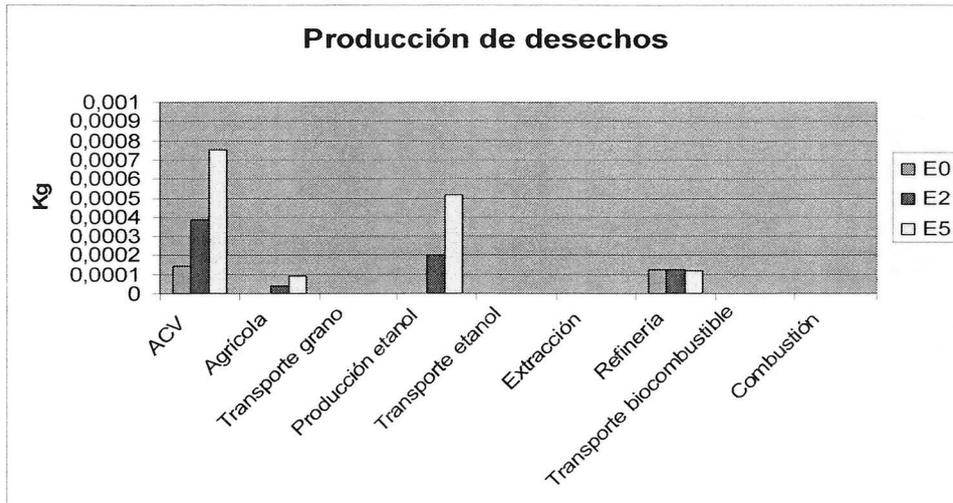
Las etapas que más contribuyen a la generación de residuos son las etapas de producción de etanol (lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua), la refinación del crudo y en la etapa agrícola.

Como se mencionó con anterioridad, NO se consideraron los residuos del campo.

El impacto evitado por sustitución de harina de soya en el caso del raps es el doble (por valor nutritivo) que en el caso de etanol. Tal como para el consumo de agua, el impacto NO es representativo para el escenario local, por ser generado fuera de las fronteras consideradas en el estudio.

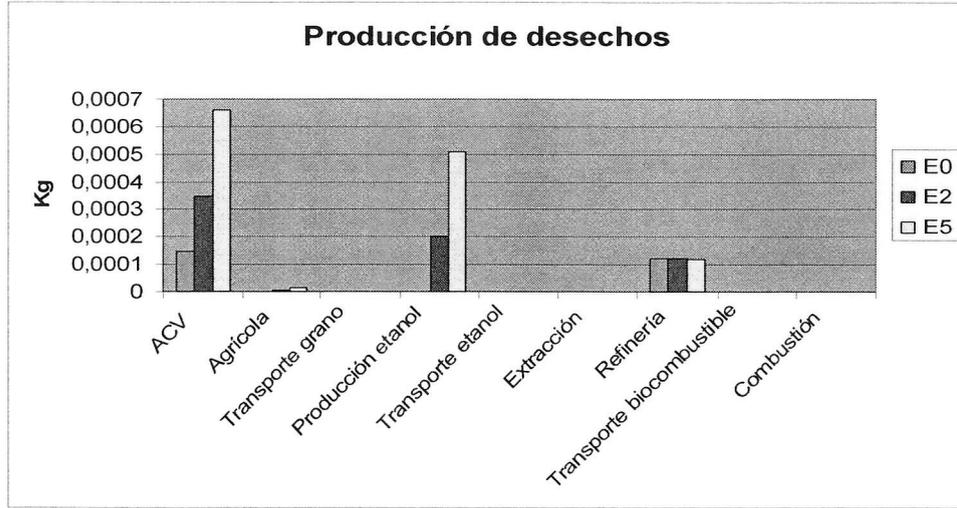
Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador generación de residuos para los distintos escenarios considerados.

24.1 Etanol Trigo



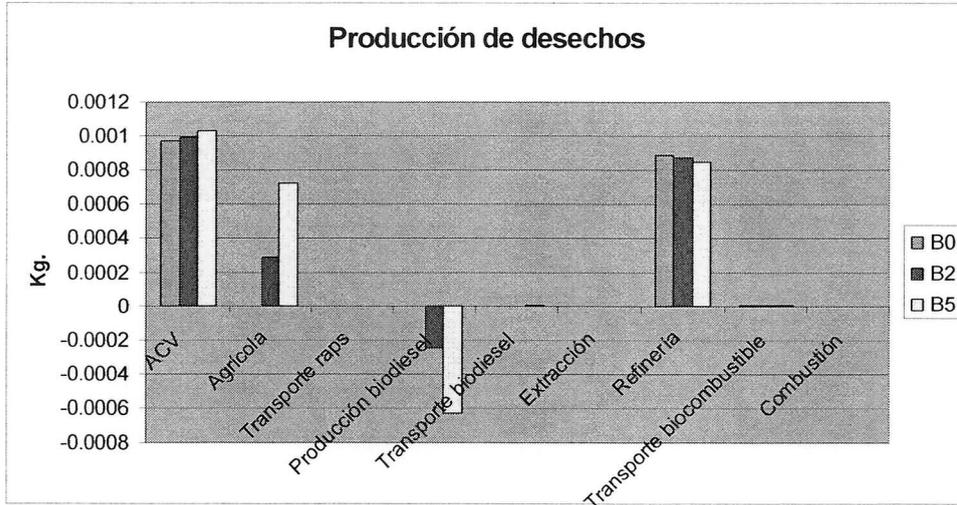
Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

24.2 Etanol Maíz



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de etanol y gasolina 93 octanos y el transporte de combustible fósil al 100%.

24.3 Biodiesel de Raps



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyeron las mezclas de biodiesel y diesel A, así como el transporte de combustible fósil al 100%.

25 Análisis de sensibilidades

A continuación se presentan los principales resultados del análisis de sensibilidad del análisis de ciclo de vida de los biocombustibles, con el objetivo de:

- Comparar por indicador de impacto ambiental el desempeño de los escenarios secundarios de sensibilidad en comparación con los principales escenarios de introducción de los biocombustibles,
- Identificar posibles variaciones en los resultados obtenidos anteriormente si es que se realiza algún cambio en los principales supuestos o hipótesis planteados.

Para cada análisis de sensibilidad se presentan los indicadores de impacto ambiental con sus variaciones porcentuales para los escenarios de etanol de trigo y maíz, así como también para biodiesel de raps.

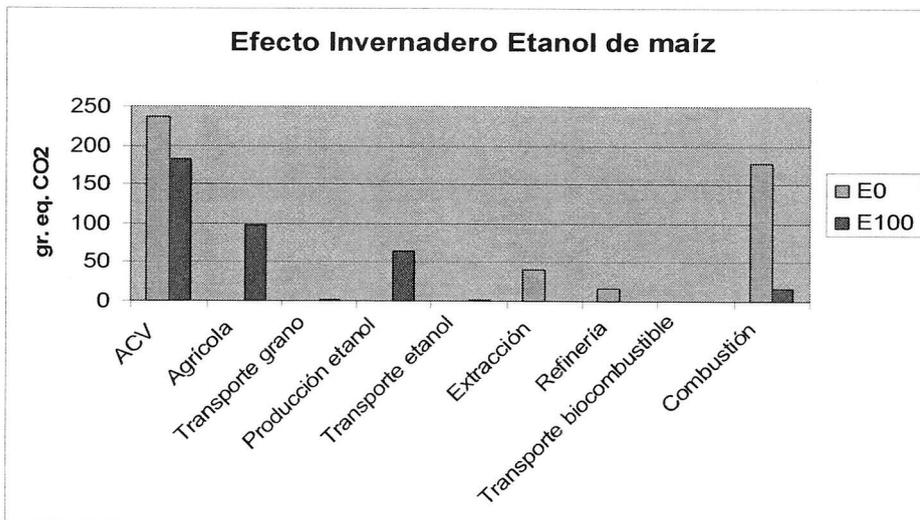
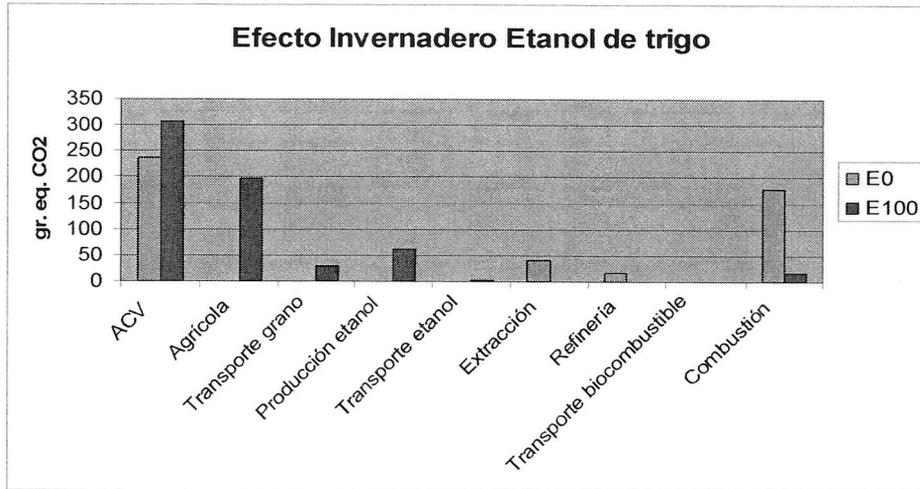
La información se desglosa por indicador de impacto y por porcentaje de mezcla, incluyéndose en este análisis un escenario E100 y B100, es decir, escenarios que consideran un 100% uso de biocombustibles. Este análisis se realizó con el objeto de ver con mayor detalle el comportamiento de un indicador, en cada una de las etapas, y contrarrestarlo con los escenarios de mezcla de un 2 y 5%, que muchas veces no permite ver la tendencia por ser fracciones muy pequeñas y cercanas a los escenario actuales de E0 y B0 (combustibles fósiles). Sin embargo, la incorporación de un 100% de biocombustibles es teórica dada la realidad no solo nacional, sino que de la gran mayoría de los países que han desarrollado un mercado para su comercialización y uso, salvo un par de excepciones.

Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%, con algunas excepciones que se describen a continuación.

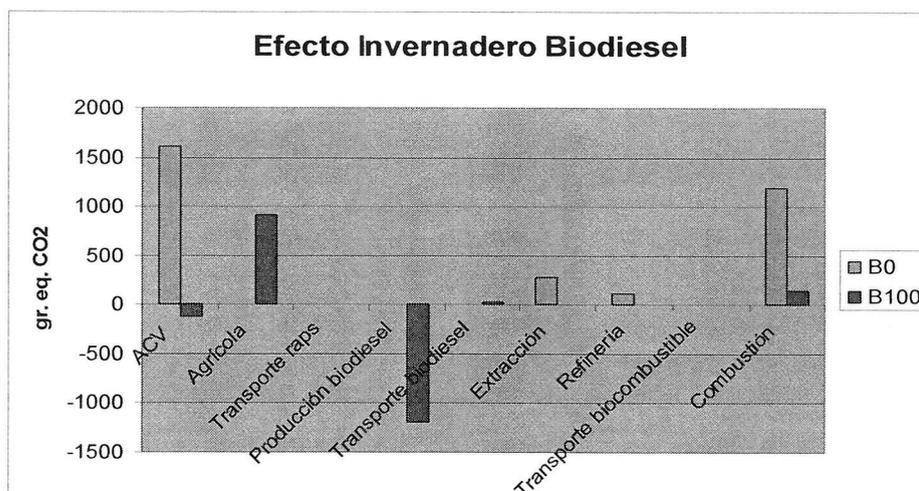
25.1 Indicadores de impacto ambiental E100 / B100

25.1.1 Efecto invernadero

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador efecto invernadero bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).



Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

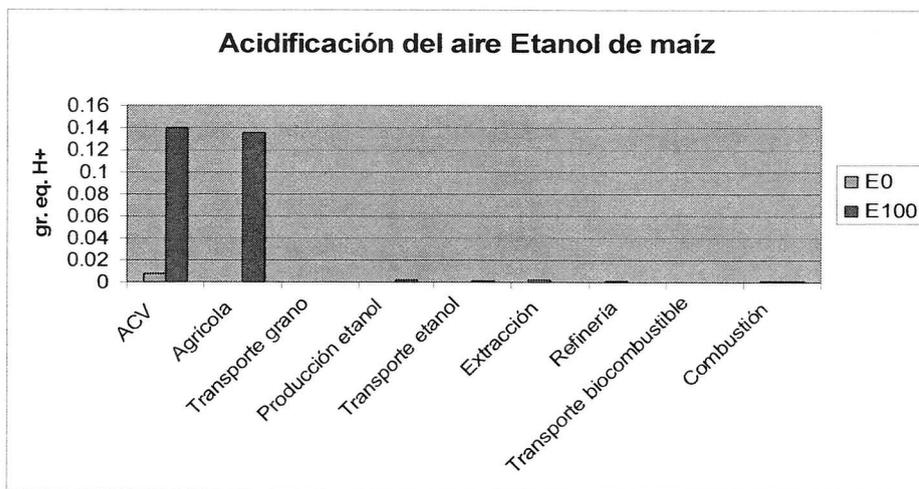
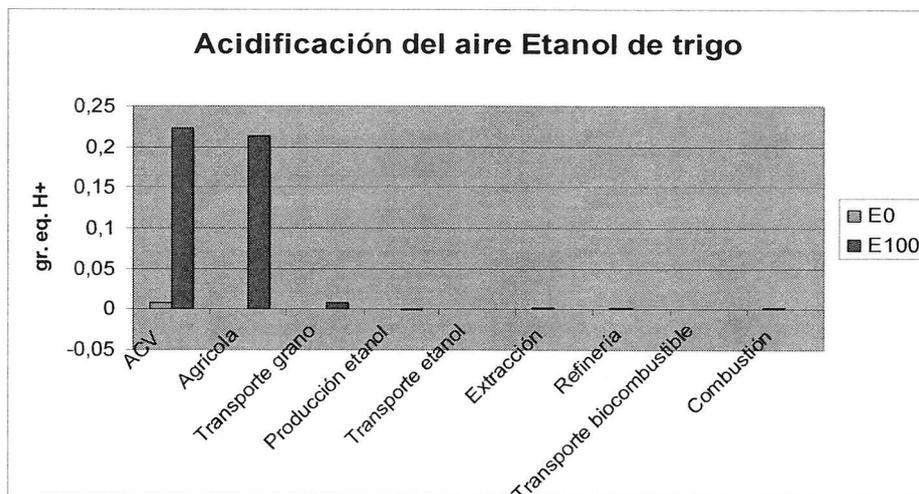


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

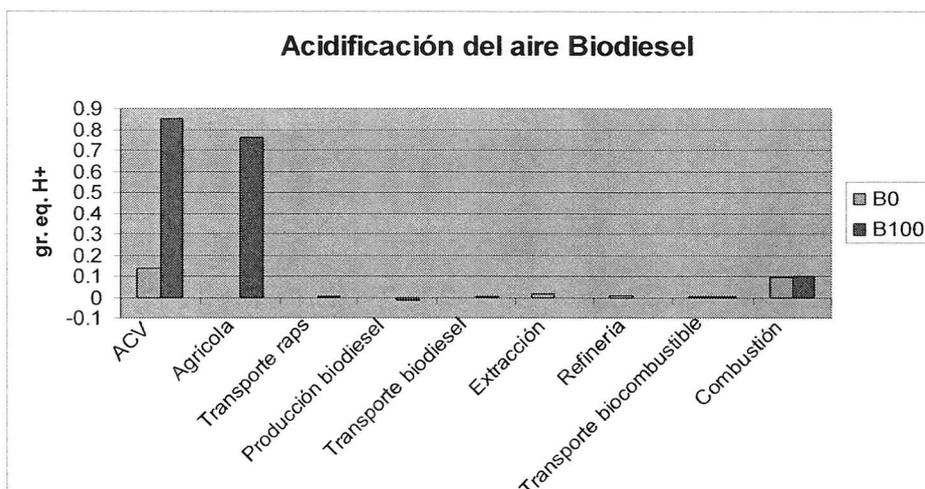
Para este indicador, y a diferencia de mezclas menores (2 y 5%), el etanol de trigo (E100) es menos favorable que la gasolina, principalmente a raíz de sus bajos rendimientos en la etapa agrícola y de producción del biocombustible. Al contrario, el biodiesel (B100) presenta resultados muy favorables en materia de efecto invernadero, contribuyendo para aquello, la hipótesis de trabajo de combustión total de la glicerina generada en un horno cementero en reemplazo de carbón.

25.1.2 Acidificación del aire

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador acidificación del aire bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).



Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

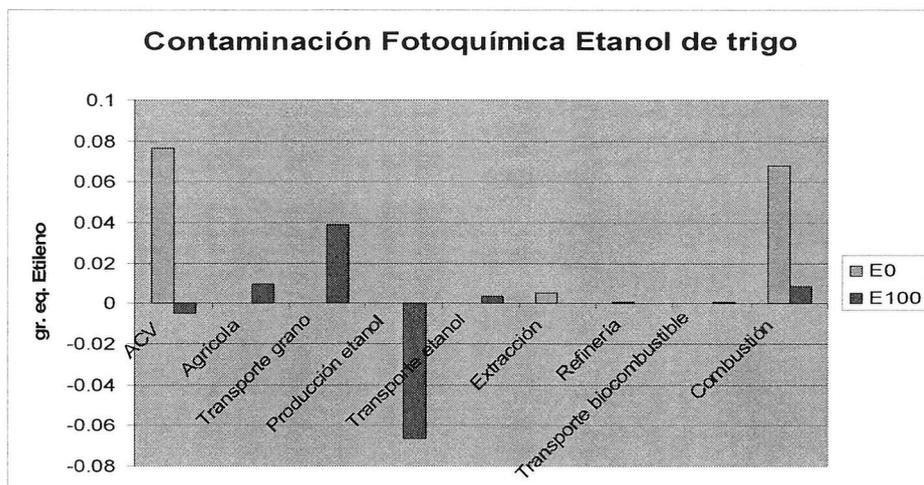


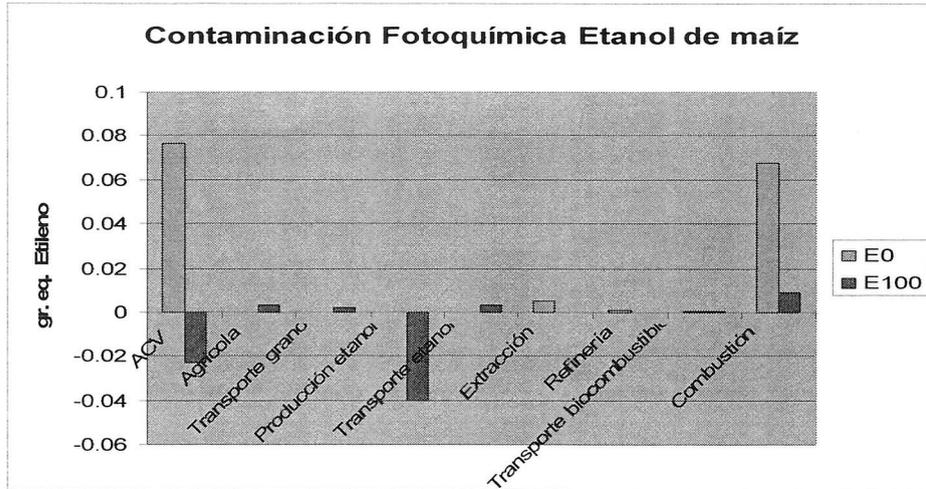
Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

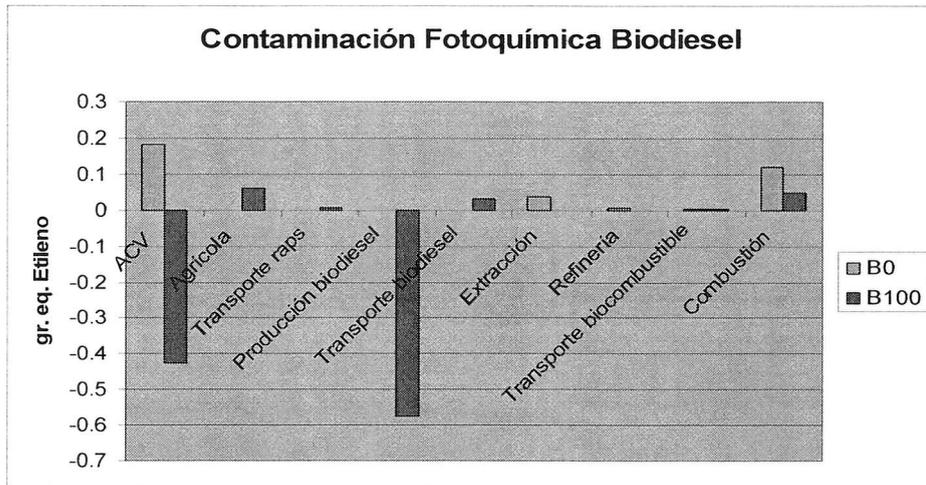
25.1.3 Contaminación fotoquímica

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador contaminación fotoquímica bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).





Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

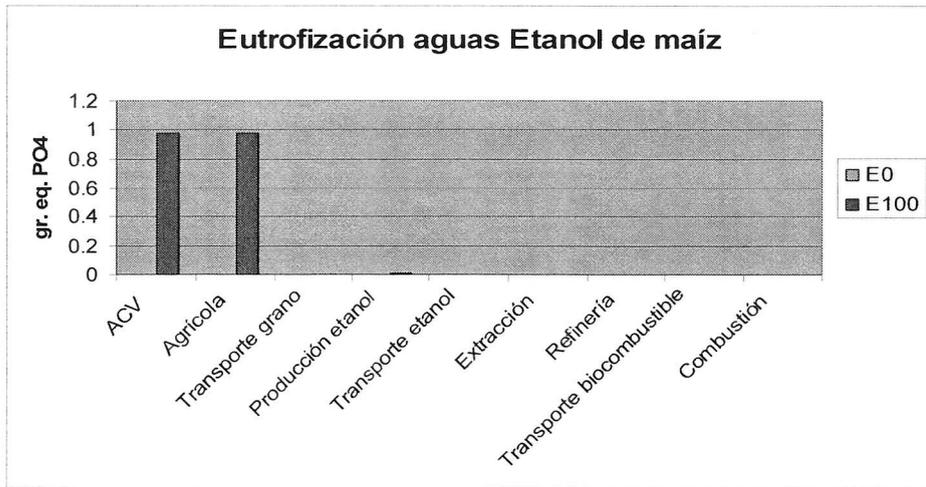
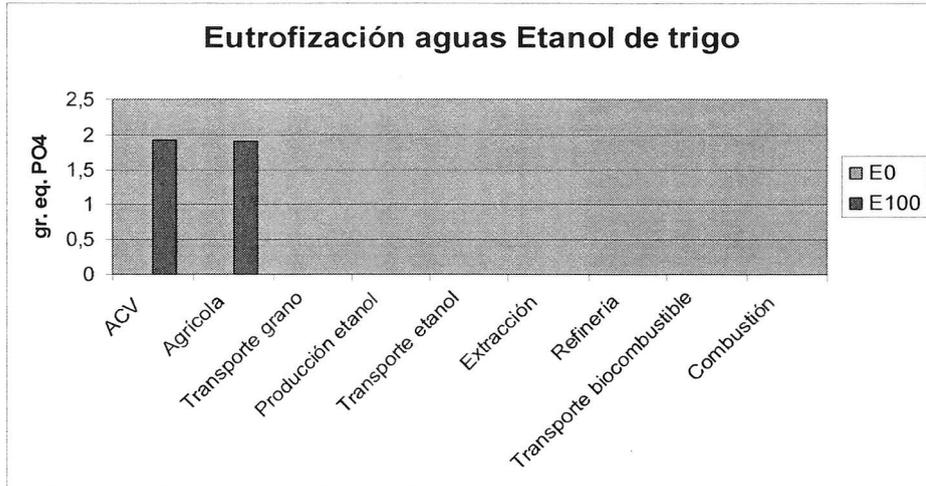


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

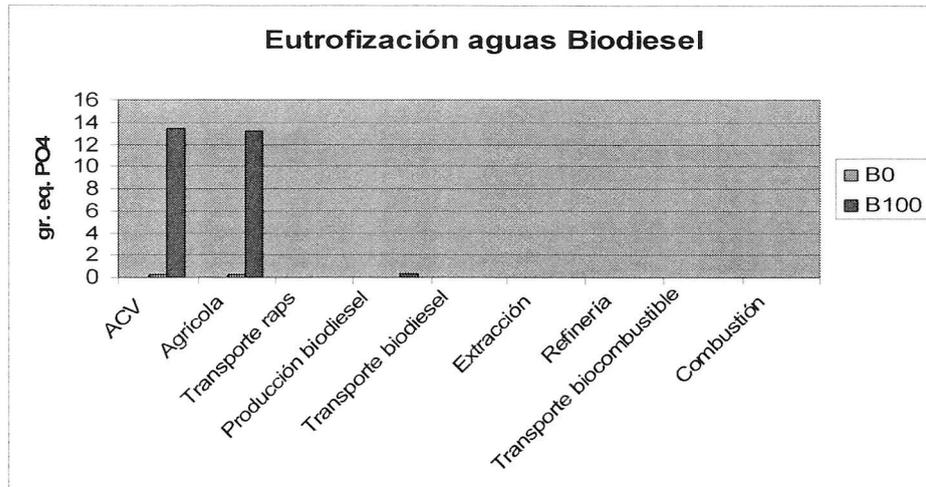
Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

25.1.4 Eutrofización de las aguas

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador eutrofización bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).



Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

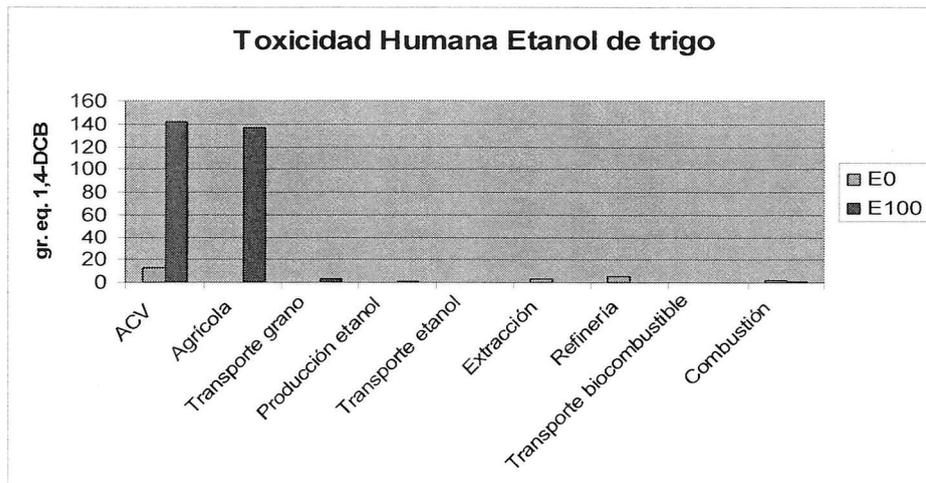


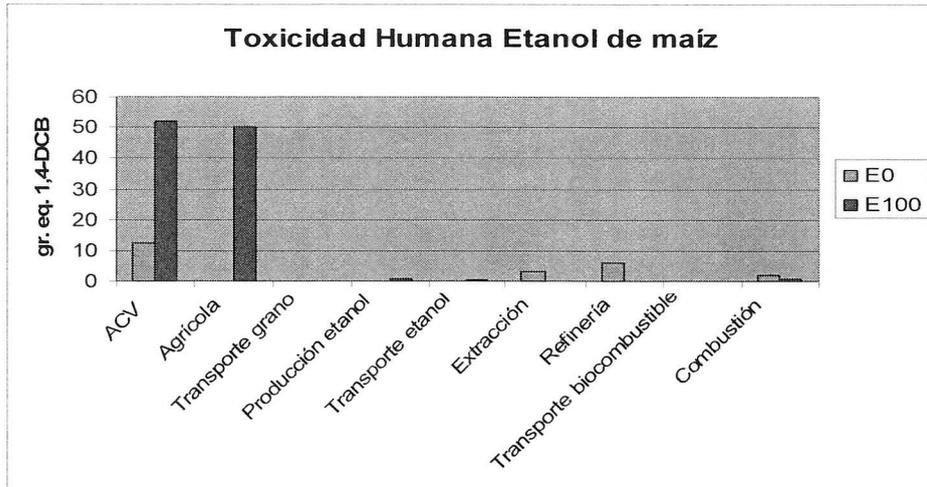
Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

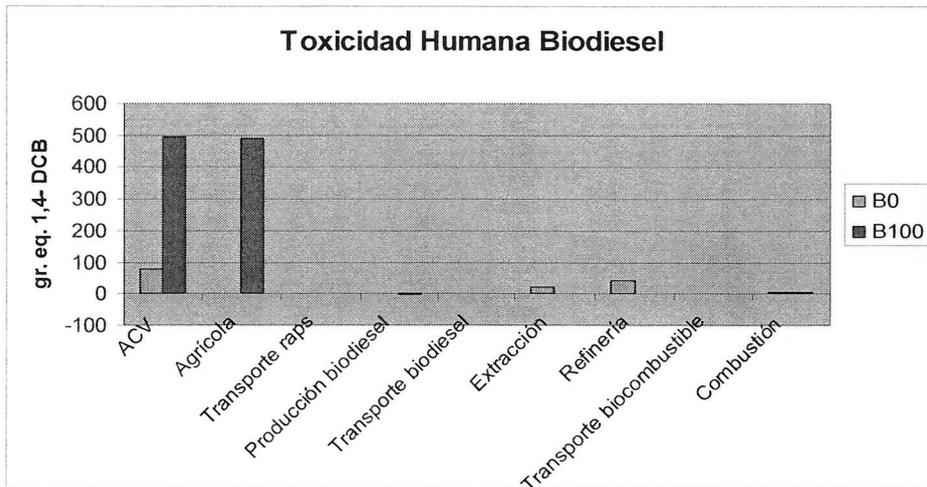
25.1.5 Toxicidad humana

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador toxicidad humana bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).





Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

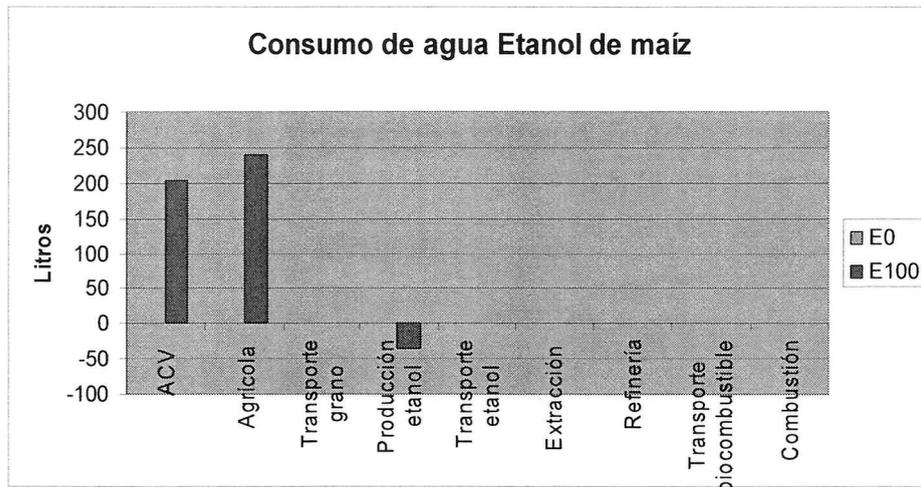
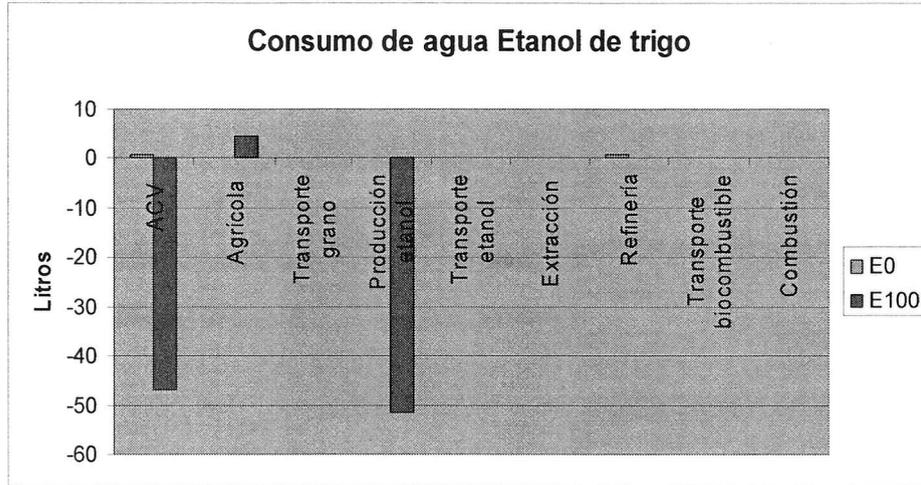


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

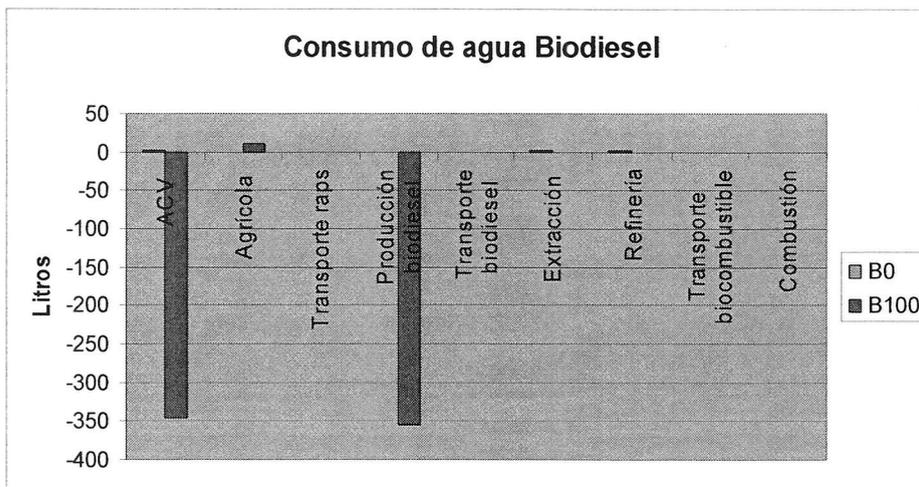
Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

25.1.6 Consumo de agua

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador consumo de agua bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).



Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

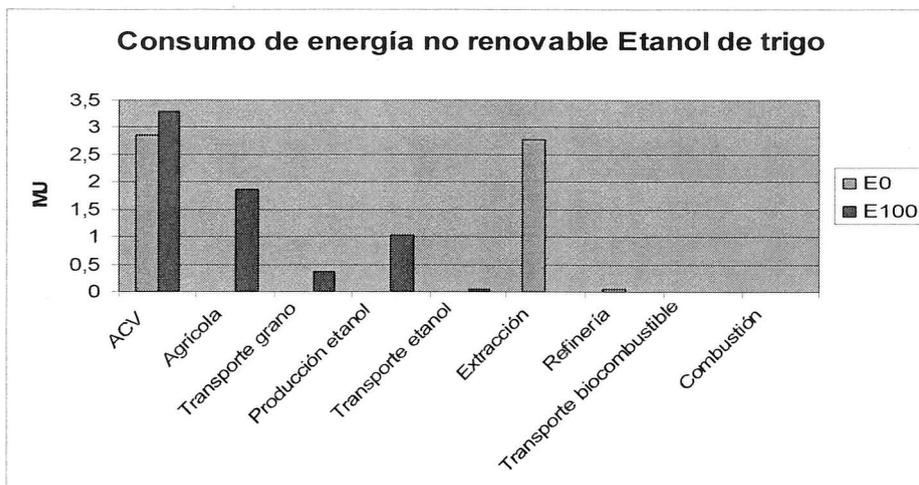


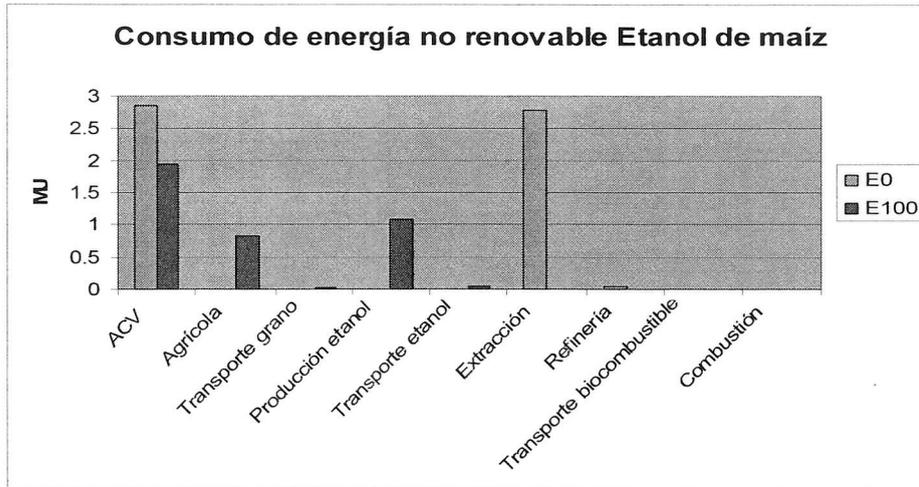
Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

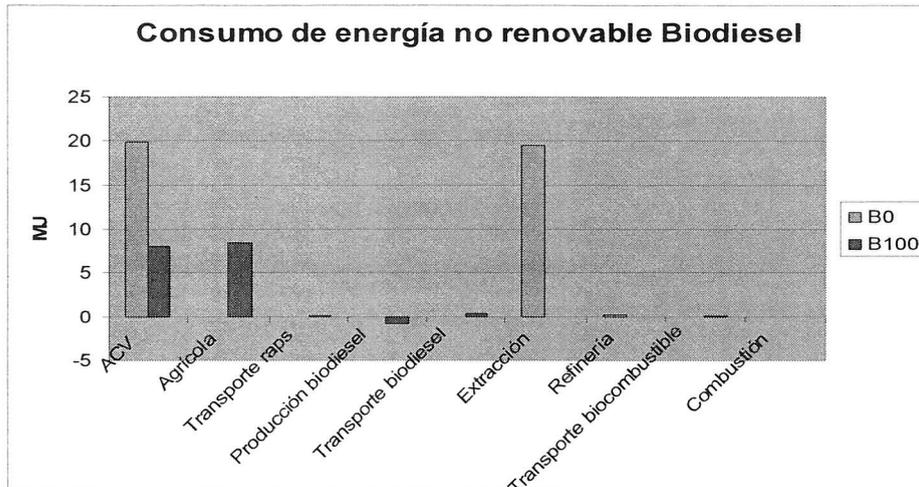
25.1.7 Consumo de energía no renovable

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador consumo de energía no renovable bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).





Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.

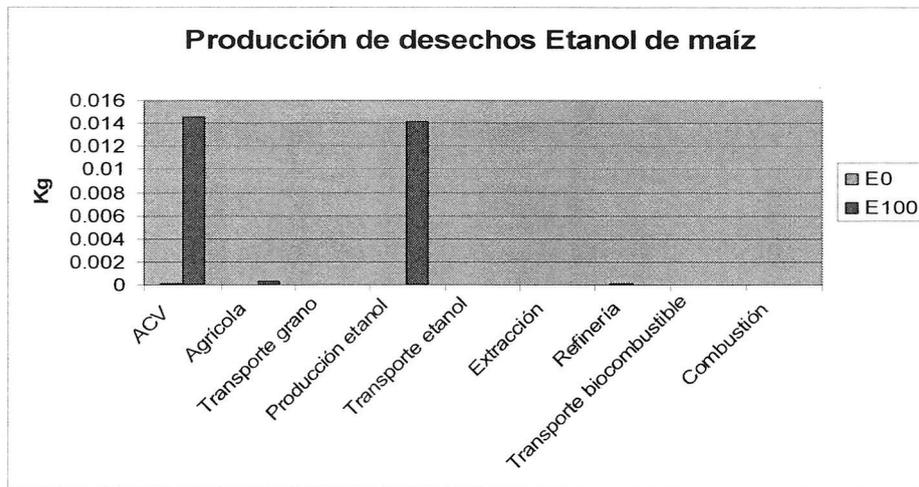
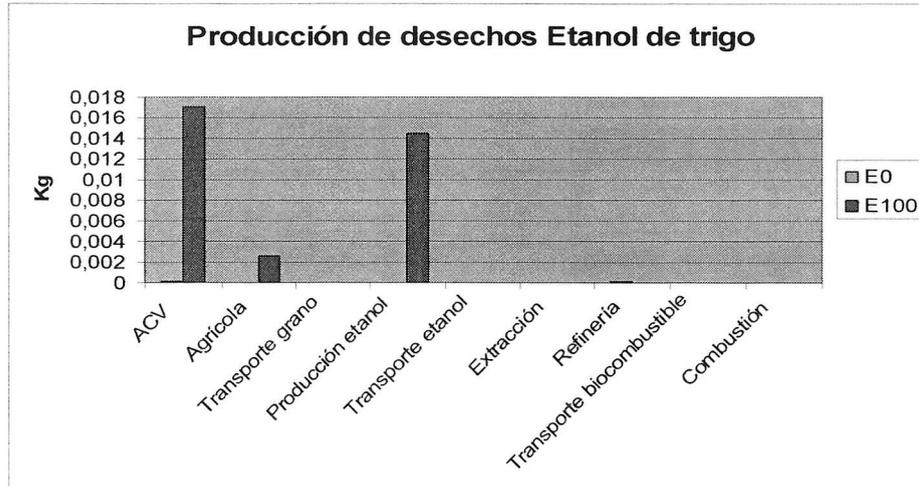


Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

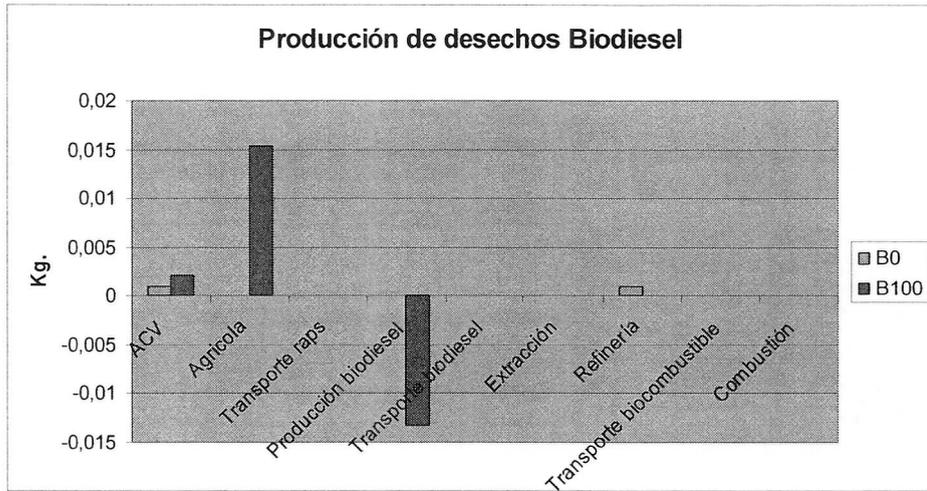
Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

25.1.8 Generación de residuos

Los siguientes gráficos indican, para cada etapa estudiada, los impactos asociados al indicador generación de residuos bajo escenarios 100% uso de biocombustibles (E100, B100) y 100% combustibles fósiles (E0, B0).



Nota: Para ambos gráficos, en la etapa transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de etanol al 100% (E100) y el transporte combustible fósil E0.



Nota: En transporte de biocombustibles se incluyó el transporte de biodiesel al 100% (B100) y el transporte combustible fósil B0.

Para E100 y B100, se mantuvieron en general las tendencias de los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%.

25.2 Fijación de carbono (C) en el suelo durante la etapa agrícola

Como se vio en el sub-capítulo 11.4, el CO₂ atmosférico que es captado durante la fotosíntesis forma posteriormente la estructura tisular de las plantas. Ese mismo carbono captado es luego liberado a través de la quema de la biomasa. De esta manera el C es liberado en forma de CO₂ a la atmósfera, comenzando de esta forma nuevamente el ciclo, sin embargo, parte del CO₂ es fijado tanto en la parte del cultivo que se cosecha (grano y paja) como en aquellas partes que quedan en el terreno (rastros y raíces),

La fijación de C ocurrida por rastros y raíces, se produce en presencia de materia orgánica o por la acción de microorganismos que inmovilizan el C en el suelo, no transformándolo nuevamente en CO₂, por lo que se considera como una fijación neta de CO₂ atmosférico por el cultivo.

Se considero una fijación de 50 kg de C/ha versus un valor de 0 kg de C/ha considerado en los escenarios principales, el cual es un valor bastante conservador dentro de los estudios encontrados.

Esta fijación se consideró para los tres escenarios principales del estudio, es decir, para etanol de trigo (VIII Región), etanol de maíz (VII Región) y biodiesel de raps (IX Región).

A continuación se presentan los resultados con que esta sensibilización afecta la contribución al efecto invernadero del etanol de trigo respecto al escenario inicial planteado.

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Efecto invernadero	-0,028%	-0,071%	-1,514%

Los resultados para etanol de maíz se presentan en la siguiente tabla:

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Efecto invernadero	-0,007%	-0,018%	-0,640%

Los resultados para biodiesel de raps se presentan en la siguiente tabla:

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Efecto invernadero	-0,02%	-0,05%	-11,52%

En este análisis de sensibilidad se observa una reducción del efecto invernadero en los tres casos estudiados puesto que al generarse una fijación de carbono en el suelo se reduce las emisiones de CO₂ al aire.

Es necesario destacar que esta reducción no es significativa en mezclas de 2 y 5%, por lo que no es un factor que afecte los resultados generales de los escenarios principales.

25.3 Reducción de insumos en la etapa agrícola

Se consideró una reducción de un 20% en el consumo de los insumos y consumo energético en el escenario de producción de etanol desde maíz (VII Región), debido a que actualmente se buscan prácticas de manejo sustentable de los recursos utilizados en el campo.

Los resultados para esta sensibilización respecto al etanol de maíz se presentan en la siguiente tabla:

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Consumo de agua	-0,394%	-0,442%	-0,480%
Producción de desechos	-0,272%	-0,363%	-0,460%
Consumo de energía no renovable	-0,081%	-0,207%	-8,439%
Toxicidad humana	-1,066%	-2,540%	-18,796%
Acidificación del aire	-2,458%	-4,776%	-11,895%
Eutrofización	-18,654%	-19,382%	-19,873%
Efecto invernadero	-0,106%	-0,272%	-9,471%
Contaminación fotoquímica	-0,012%	-0,033%	2,728%

Este análisis de sensibilidad entrega como resultado una reducción significativa en la eutrofización de las aguas, debido a que refleja una reducción en las emisiones de nitrato (NO_3^-) al suelo como principal causante de la reducción porcentual observada.

Adicionalmente se observa una reducción significativa en la acidificación del aire debido a que se genera una reducción de las emisiones de amoníaco (NH_3) al aire.

También se genera una reducción leve en el impacto de toxicidad humana, especialmente para E100, debido a que se genera una reducción de las emisiones al aire de tetrachlorodibenzo p-Dioxin, compuesto generado por la combustión de diesel en maquinarias utilizadas en el campo.

Los resultados de este análisis de sensibilidad muestran que una reducción de un 20% en los parámetros indicados mantienen las tendencias observadas para los indicadores de impactos ambientales.

25.4 Raps, cambio de tipo de cultivo a cero labranza

Se agregó un escenario de cero labranza para el cultivo del raps y se contrarrestaron los resultados con el sistema de labranza tradicional considerado en el presente estudio.

Se consideró el 100% de quema de rastrojos en esta sensibilización, cambiando solamente los *inputs* extraídos de las fichas agronómicas del estudio de la UTFSM.

Los resultados para biodiesel de raps se presentan en la siguiente tabla:

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Consumo de agua	-0.316%	-0.316%	-0.316%
Producción de Desechos	-2.325%	-5.648%	-59.560%
Consumo de energía no renovable	-0.127%	-0.322%	-16.637%
Toxicidad humana	-3.021%	-6.681%	-28.627%
Acidificación del aire	-0.241%	-0.534%	-2.228%
Eutrofización	-0.208%	-0.211%	-0.213%
Efecto invernadero	-0.102%	-0.267%	-41.424%
Contaminación fotoquímica	-0.060%	-0.168%	-1.263%

En este análisis de sensibilidad se observa una reducción en la producción de desechos en la etapa agrícola que se explica mayoritariamente por la reducción en un 46% del consumo energético por lo cual los residuos asociados a la etapa de producción de energía disminuyen en la misma proporción. Cabe recordar que no se consideraron desechos en la etapa agrícola por lo cual cualquier variación viene a impactar fuertemente los resultados obtenidos.

Adicionalmente se observa una reducción en el impacto de toxicidad humana debido a que se genera una reducción de las emisiones al aire de tetrachlorodibenzo dioxin, que es generado principalmente durante la combustión de diesel generada en los tractores o maquinarias que se utilizan en el cultivo tradicional.

25.5 Reducción de la quema de rastrojos

Este escenario consideró la quema de un 50% de los rastrojos agrícolas producidos en la etapa agrícola de producción de maíz y la NO quema de rastrojos en la etapa agrícola para la producción de raps cero labranza.

Los escenarios originales supusieron una quema total de los residuos generados en el campo.

A continuación se presentan las variaciones porcentuales de esta sensibilización para el caso de etanol de maíz:

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Consumo de agua	0,000%	0,000%	0,000%
Producción de Desechos	0,000%	0,000%	0,000%
Consumo de energía no renovable	0,000%	0,000%	0,000%
Toxicidad humana	-0,059%	-0,141%	-1,044%
Acidificación del aire	-3,869%	-7,520%	-18,730%
Eutrofización	0,000%	0,000%	0,000%
Efecto invernadero	-0,036%	-0,094%	-3,270%
Contaminación fotoquímica	0,000%	0,000%	0,000%

Los resultados para biodiesel de raps se presentan en la siguiente tabla:

Resultados de comparación	Variación porcentual comparando respectivamente con E2, E5 y E100 de los escenarios de referencia		
	E2	E5	E100
Consumo de agua	-0.316%	-0.316%	-0.316%
Producción de Desechos	-2.326%	-5.651%	-59.588%
Consumo de energía no renovable	-0.126%	-0.322%	-16.637%
Toxicidad humana	-3.059%	-6.764%	-28.985%
Acidificación del aire	-1.323%	-2.923%	-12.203%
Eutrofización	-0.208%	-0.211%	-0.213%
Efecto invernadero	-0.126%	-0.327%	-46.430%
Contaminación fotoquímica	-0.060%	-0.168%	-1.263%

En ambos análisis se observa una reducción en el impacto de acidificación del aire, debido a que al disminuir o eliminar la quema de rastrojos se reduce considerablemente, reflejándose en los óxidos nitrosos (SO_x) y amoníaco (NH₃) las principales reducciones.

Adicionalmente en el análisis de sensibilidad para el caso de biodiesel de raps se observa dos reducciones significativas adicionales, una en la producción de desechos debido a que se consume menos energía (ver sub-capítulo 25.4) y para la toxicidad humana por las menores emisiones de tetrachlorodibenzo p-Dioxin (ver sub-capítulo 25.4).

La no quema de rastrojos contribuye mayoritariamente en la baja de las emisiones asociadas a la acidificación del aire.

Los resultados de este análisis de sensibilidad muestran que para el escenario de 50% reducción de quema para el maíz y la no quema de rastrojos de raps cero labranza, mantiene las tendencias observadas para los indicadores de impactos ambientales.

25.6 Importación de biodiesel de soya

En este escenario se consideró la importación de biodiesel de soya desde el paso fronterizo Los Libertadores, que une Argentina y Chile. Este biodiesel será llevado y mezclado en Santiago con gasolina 93 octanos en un 2 y 5%.

Este análisis supuso una utilización de biodiesel generado 100% en el extranjero, por lo que no se consideraron los efectos asociados a la etapa agrícola ni la producción del biodiesel ni los transportes asociados a dichas etapas fuera del territorio nacional. Este escenario considera únicamente las etapas de transporte del biocombustible desde la frontera de Argentina y Chile hacia Santiago por el paso los Libertadores y su combustión en un centro de mezcla ubicado en la capital.

A continuación se presentan los resultados para el biodiesel importado considerando específicamente los indicadores de impactos ambientales.

Resultados de comparación	Variación porcentual comparado con B0		
	B2	B5	B100
Efecto invernadero	-1,68%	-4,20%	-90,57%
Acidificación del aire	-0,25%	-0,72%	-20,88%
Contaminación fotoquímica	-0,29%	-2,81%	-61,94%
Eutrofización	-1,41%	-3,55%	-95,78%
Toxicidad humana	-1,35%	-3,40%	-91,20%
Residuos	-1,45%	-3,63%	-97,62%
Consumo energía no renovables	-1,47%	-3,70%	-99,05%
Consumo de Agua	-1,45%	-3,64%	-97,77%

Se observa que todos los indicadores de impacto ambiental son favorables a las mezclas de un 2%, 5% y 100% de biodiesel. Es importante resaltar que si bien, todos los indicadores de impacto son favorables bajo este escenario, no mide los reales impactos ambientales a nivel global si se considera TODA la cadena de producción del biodiesel.

25.7 Cálculo emisiones CO₂ por hectárea cultivada

Como un análisis exploratorio de las emisiones de carbono que se emite por cada hectárea utilizada para la producción de biocombustibles, y en base a los requerimientos de la contraparte técnica del presente estudio, se realizó una estimación general de la reducción de emisiones para diferentes escenarios de mezcla.

Se entiende que una hectárea ingresada al sistema es una ha cultivada para la generación de materia prima utilizada en la producción de algún biocombustible (etanol o biodiesel).

El cálculo realizado es una estimación proporcional a la cantidad de hectáreas utilizadas y a la reducción de emisiones de CO₂ del sistema en forma global (incluye todas las etapas). Es necesario considerar que varias de estas emisiones de CO₂ reducidas pueden no generarse dentro del territorio chileno, ya que esta estimación considera el ciclo completo de emisiones, lo que significa que considera aquellas producidas por el transporte y elaboración de insumos y materiales fuera y dentro del territorio nacional.

La siguiente tabla indica los valores simulados a través del software TEAM para representar las emisiones que se generan o evitan por cada hectárea utilizada para la generación de biocombustibles.

Tabla 48. Emisiones de CO₂ por ha cultivada estimadas a través de software TEAM.

	km recorridos (km)	Etanol - Biodiesel (L)	Bencina (kg)	Terreno de cultivo (ha)	Litros por 1 ha	CO ₂ /ha ingresada al sistema (ton)
Maíz E2	1	0,001480642	0,0542686	3.33E-07	4.439,985	5,7
Maíz E5	1	0,003729909	0,0530094	8.4E-07	4.440,003	6,3
Trigo E2	1	0,001480642	0,0542686	1.32E-06	1.119,993	0,4
Trigo E5	1	0,003729909	0,0530094	3.33E-06	1.120,002	0,5
Raps B2	1	0,009709881	0,360668	5.95E-06	1.630,858	6,1
Raps B5	1	0,024468158	0,352414	1.5E-05	1.630,852	6,1

Los resultados que entrega TEAM en función al cálculo de emisiones de TODA la cadena asociado a la utilización de una hectárea para etanol o biodiesel son:

- Para la generación de etanol a partir de maíz y una mezcla de un 2% existe una emisión de 5,7 ton de CO₂ por hectárea. Para una mezcla de un 5% se generan 6,3 ton de CO₂ por hectárea.
- Para la producción de etanol a partir de trigo y una mezcla de un 2% existe una emisión de 0,4 ton de CO₂ por hectárea. Para una mezcla de un 5% se generan 0,5 ton de CO₂ por hectárea.
- Finalmente, para la producción de biodiesel de raps y una mezcla de 2% un existe una emisión de 6,1 ton de CO₂ por hectárea, y para una mezcla de un 5%, una generación de 6,1 ton de CO₂ por hectárea que se calcula a través del software.

Esta es una estimación proporcional a la cantidad de hectáreas utilizadas y a la reducción de emisiones de CO₂ del sistema en forma global (incluye todas las etapas), por lo que no debe extrañar que en el caso de biodiesel sea la misma reducción, ya que proporcionalmente el aumento de uso de tierras para el cultivo es igual a la disminución de emisiones de CO₂ por el ciclo completo de este caso.

Es importante recalcar que la estimación realizada se basa en los supuestos utilizados a lo largo del estudio y representa una primera aproximación al cálculo de emisiones de CO₂ por hectárea cultivada para biocombustibles.

SECCION VI – Conclusiones

El presente estudio de Análisis de Ciclo de Vida aporta antecedentes e información cuantificada y sustentada sobre los indicadores de impactos ambientales asociados al desarrollo de los biocombustibles en Chile, constituyendo uno de los primeros estudios de ACV realizado en el país.

Este estudio implicó un esfuerzo importante de recopilación de información, tanto a nivel bibliográfico, como a través de contactos personales y entrevistas a diversos actores nacional. Dicha etapa de recopilación es fundamental para asegurar la calidad de los datos analizados pero está siempre sujeta a la disponibilidad de los diferentes actores consultados, a la existencia de información y a los tiempos del estudio.

Comparación general de los indicadores

En el presente Análisis de Ciclo de Vida, al comparar los indicadores de impactos ambientales de las mezclas de biocombustibles de un 2 y 5% con los escenarios actuales de referencia (combustibles fósiles), se observa que existen resultados que favorecen la introducción de biocombustibles y otros que favorecen los escenarios actuales de uso de combustibles fósiles.

Así entonces, para los indicadores Gases de Efecto Invernadero y Contaminación Fotoquímica, todos los escenarios de biocombustibles estudiados son favorables, es decir que existe una disminución global de las emisiones a lo largo del ciclo de vida.

Además, para los indicadores de energía no renovable y agua, se observó en general, una disminución de los consumos al utilizar las mezclas de biocombustibles estudiadas. Sin embargo, para el caso del cultivo de Maíz, se observó un aumento significativo en el consumo del agua debido a que corresponde a un cultivo de riego.

Por otro lado, para los indicadores de acidificación del aire, toxicidad humana, eutrofización de las aguas y generación de residuos, se nota que todos los escenarios de biocombustibles estudiados son menos favorables en comparación con escenarios actuales de uso de combustibles fósiles.

A continuación se presentan de manera esquematizada los niveles de impactos de los indicadores considerados ante la utilización de biocombustibles o combustibles fósiles. De esta manera y para los diferentes indicadores, si los impactos ambientales asociados a los biocombustibles son menores (<) a los de los combustibles fósiles, se tratará de un escenario favorable para los biocombustibles, por otro lado, si los impactos ambientales asociados a los biocombustibles son mayores (>) a los combustibles fósiles, estaremos en presencia de un escenario favorable a los combustibles fósiles.

Tabla 49. Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de trigo vs gasolina 93.

		Nivel de Impacto		
Indicadores de Impactos	Gases de Efecto Invernadero	mezcla de 5% de etanol	<	gasolina 93 octanos
	Acidificación del Aire		>	
	Contaminación Fotoquímica		<	
	Eutrofización (en agua)		>	
	Toxicidad Humana		>	
	Residuos		>	
	Energía no renovable		>	
	Agua		<	

Tabla 50. Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de maíz vs gasolina 93.

		Nivel de Impacto		
Indicadores de Impactos	Gases de Efecto Invernadero	mezcla de 5% de etanol	<	gasolina 93 octanos
	Acidificación del Aire		>	
	Contaminación Fotoquímica		<	
	Eutrofización (en agua)		>	
	Toxicidad Humana		>	
	Residuos		>	
	Energía no renovable		<	
	Agua		>	

Tabla 51. Esquematización de los niveles de impactos ambientales para una mezcla de 5% de biodiesel de raps vs diesel A.

		Nivel de Impacto		
Indicadores de Impactos	Gases de Efecto Invernadero	mezcla de 5% de biodiesel	<	diesel A
	Acidificación del Aire		>	
	Contaminación Fotoquímica		<	
	Eutrofización (en agua)		>	
	Toxicidad Humana		>	
	Residuos		>	
	Energía no renovable		<	
	Agua		<	

Reforzando el nivel de lectura anterior, a continuación se presentan de manera esquematizada los indicadores de impactos ambientales que resultan favorables ante la utilización de biocombustibles o combustibles fósiles. Así entonces, las barras de color verde representan los indicadores cuyos resultados son favorables al utilizar una mezcla de biocombustibles mientras que las barras en azul representan los indicadores cuyos resultados son favorables al utilizar combustibles fósiles.

Es importante resaltar que los indicadores de impactos ambientales señalados en las siguientes figuras NO jerarquizan los impactos y su orden no representa la importancia relativa de cada uno de ellos.

Figura 14. Esquematzación de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de trigo vs gasolina 93

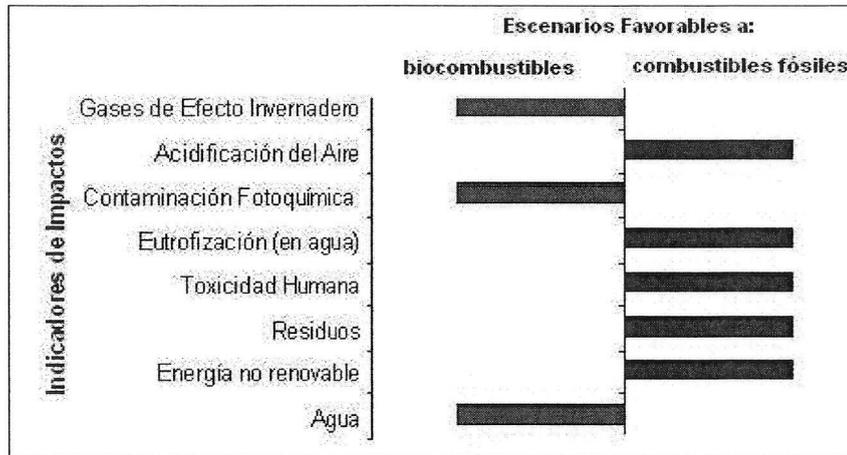
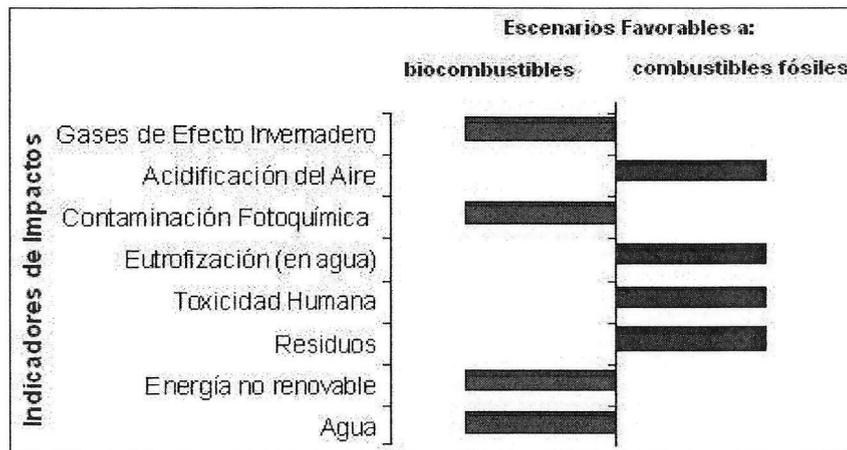


Figura 15. Esquematzación de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de etanol de maíz vs gasolina 93



Figura 16. Esquematzación de los indicadores de impactos ambientales para una mezcla de 5% de biodiesel de raps vs diesel A



Es importante resaltar que los indicadores de impactos ambientales señalados en las figuras anteriores NO jerarquizan los impactos y su orden no representa la importancia relativa de cada uno de ellos.

Análisis detallado por indicador

Para el indicador de **efecto invernadero**, como se indicó anteriormente, se aprecia una disminución de las emisiones al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles. La sustancia que contribuye mayoritariamente a este indicador es el CO₂ fósil, cuyas emisiones se concentran en la etapa de combustión. Para el caso del biodiesel de raps, se consideró un desplazamiento de combustibles fósiles (carbón bituminoso) por glicerina (sub-producto del proceso de generación de biodiesel) generando una disminución de las emisiones al evitar la producción y quema de dicho combustible fósil. Cabe mencionar que si no se considera dicho desplazamiento, las emisiones de gases de efecto invernadero para el biodiesel de raps siguen siendo menores.

Dependiendo de la estrategia país en el tema de Cambio Climático, el indicador efecto invernadero será relevante para cuantificar el efecto asociado a las emisiones de GEI producto de los biocombustibles y combustibles fósiles, no solo en nuestro país, sino a nivel mundial. De esta manera, la comercialización de biocombustibles y, por ende, la baja en las emisiones de CO₂ fósil, podrá ser un aporte en materia de considerar el problema del cambio climático como una responsabilidad que involucra a múltiples actores.

Para el indicador de **acidificación del aire**, existe un aumento de las emisiones al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles. Las sustancias que más contribuyen a este indicador son el dióxido de nitrógeno (NO_x como NO₂) y el dióxido de azufre (SO_x como SO₂) en las etapas agrícolas, de extracción, refinación y combustión, siendo en esta última etapa mayores en el caso del biodiesel comparado con el etanol.

Durante la etapa agrícola, confluyen las emisiones provenientes de la quema de combustibles de las faenas agrícolas y la quema de rastrojos en el campo. Además, durante esta etapa, existen emisiones de amoníaco relacionadas al uso de fertilizantes que contribuyen a la acidificación del aire, siendo el cultivo del trigo el mayor contribuyente de dicho indicador de impacto en comparación con el maíz.

El aumento de la cantidad de sustancias ácidas en la baja atmósfera, puede originar la formación de lluvia ácida. La acidificación del aire y la lluvia ácida son las consecuencias del proceso de oxidación de azufre atmosférico que forma el ácido sulfúrico. Además de los óxidos de nitrógeno, también se forma ácido nítrico. Los daños producidos por la lluvia ácida pueden afectar bosques, cultivos, pero también edificios y otros elementos de las ciudades.

Este indicador se presenta en gran medida en la etapa agrícola para el caso del etanol y muy fuertemente en la etapa combustión para el caso biodiesel. La importancia y los límites de emisiones permitidos dependerán de las normas existentes en cada caso, así entonces será prudente poder contar con mayores antecedentes que permitan determinar equivalencias en cada sector afectado.

Para el caso de la comercialización de biodiesel, se observa un aumento en las emisiones de NO_x y SO_x producto de la combustión, lo que contribuye negativamente a la descontaminación de Santiago.

La **contaminación fotoquímica** se produce como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta.

Como se mencionó anteriormente, para este indicador existe una disminución de las emisiones, al utilizar mezclas de biocombustibles de un 2 y 5% respecto a la utilización de combustibles fósiles en un 100%.

Los compuestos considerados fotoquímicos son gases reactivos formados por hidrocarburos, que pueden participar en la formación de smog. Los principales gases son los orgánicos no metano, hidrocarburos no metanos, hidrocarburos no especificados y los totales, y se emiten generalmente durante los procesos de combustión.

Para el indicador mencionado, el mayor contribuyente son las emisiones de hidrocarburos no especificados ocurridas en alrededor de un 84% durante la etapa de combustión en vehículos. Durante la etapa de extracción, existen también emisiones de metano que contribuyen al indicador.

Dependiendo de los intereses de las autoridades en el tema, este indicador será más significativo en aquellas ciudades donde exista un incremento importante en la contaminación atmosférica de la zona por gases tales como el CO, NOx y SOx. De esta manera, la comercialización de biocombustibles se justifica en una ciudad como Santiago, la cual posee un Plan de Descontaminación Atmosférico en ejecución, pudiéndose extrapolar a otras ciudades del país con problemas similares.

Para el indicador de **eutrofización de las aguas superficiales**, los resultados del ACV indicaron que existe un aumento de las emisiones al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles.

El aumento de la contaminación se aprecia en la etapa agrícola producto de la entrada de fertilizantes, principalmente en base a N y P, provenientes de las faenas propias del cultivo del trigo, maíz y raps. La entrada de materia orgánica a través de las aguas residuales no sólo aumenta la naturalmente existente, sino que también su descomposición regenera los nutrientes en base a P y N. A su vez el aumento de estos nutrientes incrementa la fotosíntesis, lo que podría provocar una aceleración del crecimiento del fitoplancton, principalmente algas, disminuyendo la transparencia de las aguas, y provocando un aumento significativo de dicha flora, y su posterior degradación. Esta flora degradada consume oxígeno, que al escasear o agotarse disminuye la capacidad autodepuradora del medio acuoso, rompiéndose el equilibrio ecológico.

Para los tres cultivos, se aprecia mayor presencia de nitratos y fosfatos como contribuyentes a este indicador. También se aprecia la influencia de la Demanda Química del Oxígeno (DQO) como factor de contribución.

Este indicador será relevante dependiendo de la capacidad de carga tolerante de una cuenca o acuífero, es decir, de la cantidad de contaminantes que un cuerpo de agua puede recibir sin que su carga contaminante exceda de un nivel prefijado. De esta manera, la cantidad de compuestos nitrogenados y fosfatados en las cuencas afectadas por las emisiones asociado a los fertilizantes empleados durante la etapa agrícola, podrán ser relevantes dependiendo de la capacidad de carga tolerante que se estimen en los cauces de aguas afectados.

Para el indicador de **toxicidad humana**, los resultados del ACV indicaron que para E0, E2 y E5 las etapas de extracción y refinería de crudo son las principales contribuyentes a

este indicador. La sustancia contaminante que se presenta en mayor cantidad es el níquel, siendo la etapa de refinación del crudo donde más se emite este contaminante.

Durante las etapas de combustión de las gasolinas y también de la etapa de refinación del crudo, se destaca la presencia de emisiones al aire de benceno, menos significativas en el caso de la producción de biodiesel.

Para los escenarios E2, E5 y B2, B5 el uso de diesel para la maquinaria durante la etapa agrícola y la etapa de extracción de crudo, provoca emisiones de Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C12H4Cl4O2).

El riesgo de la salud por compuestos tóxicos puede ser analizado desde las exposiciones de los contaminantes, incluyendo la cantidad de contaminante y el período sobre la cual ocurrió la exposición. Comúnmente, la información acerca de las cantidades de sustancias tóxicas en el ambiente se expresa como concentraciones, por lo cual se necesitan antecedentes adicionales sobre cuánta gente es afectada por el contaminante y de esta manera estimar el peligro total de una población.

Para el indicador **consumo de energía no renovable**, se observó en general, una disminución de sus consumos al utilizar mezclas de biocombustibles en un 2 y 5%, excepto para el caso del trigo. Esto se debe al bajo rendimiento de granos de trigo en la etapa agrícola sumado al alto consumo energético de la producción del etanol vs biodiesel.

La extracción de crudo es la etapa que más contribuye al consumo de energía por ser la etapa en la cual se extrae la energía de la tierra (*feedstock*).

Finalmente para el indicador **generación de residuos**, existe una mayor generación al utilizar biocombustibles con mezclas de 2 y 5% vs combustibles fósiles

Las etapas que más contribuyen a la generación de residuos son las etapas de producción de etanol debido a la utilización de una planta de tratamientos de agua generando lodos. También contribuyen a este indicador las etapas de refinación del crudo y agrícola.

El impacto evitado por sustitución de harina de soya en el caso del raps es el doble que en el caso de etanol. Tal como para el consumo de agua, el impacto NO es representativo para el escenario local, por ser generado fuera de las fronteras del estudio.

Para el indicador de **consumo de agua**, se observó una disminución de sus consumos al utilizar mezclas de biocombustibles en un 2 y 5% en el caso del etanol de trigo y del biodiesel de raps y un aumento en el caso del etanol de maíz. Las diferencias en el consumo de agua entre los cultivos, se reflejan en que solamente se consideró riego para el maíz. Trigo y raps se modelaron bajo sistema de secano.

El consumo de agua de la etapa de transformación del etanol y biodiesel es negativo debido a la consideración de un impacto evitado por la sustitución de harina de soya por DDGS / torta, como alimentación animal (la soya es un cultivo muy demandante de agua, se consideró el consumo de 17 litros de agua por kg de soya). Como se mencionó en el informe, el impacto negativo del consumo de agua para la producción de biocombustibles NO es representativo para el escenario local, puesto que es un impacto evitado en el país de origen de la soya.

Bajo escenarios de escasez de agua, este indicador será muy relevante, pudiendo definir la viabilidad de un proyecto de biocombustibles. De esta manera, a futuro, si se extiende

el uso de biocombustibles en zonas áridas, el indicador consumo de agua será un factor clave que habrá que considerar, promoviendo un mejor uso de las aguas y/o especies vegetativas de bajos consumos.

Si bien existen indicadores ambientales favorables a mezclas de biocombustibles o a combustibles fósiles, es también interesante analizar la magnitud de las variaciones para cada indicador entre las mezclas de biocombustibles de un 2 y 5% (trigo, maíz y raps) y los escenarios de referencia, lo que se presenta en la siguiente tabla. Cabe recordar que dichas comparaciones son solamente porcentuales, y además, no es posible comparar las variaciones de las mezclas con etanol vs mezclas con biodiesel puesto que se consideraron vehículos diferentes (vehículo liviano para el caso del etanol y vehículo pesado para el biodiesel).

Tabla 52. Variación porcentual mezcla 2 y 5 % en relación a combustibles fósiles 100%.

	E2 vs E0		E5 vs E0		B2 vs B0	B5 vs B0
	Trigo	Maíz	Trigo	Maíz	Raps	Raps
Gases de efecto invernadero	-0,40%	-1,15%	-1,42%	-3,30%	-2,05%	-5,03%
Acidificación del aire	40,12%	24,86%	100,32%	61,84%	10,21%	25,65%
Contaminación fotoquímica	-4,86%	-5,96%	-12,33%	-13,17%	-5,41%	-15,69%
Eutrofización (en agua)	2.967,18%	1.519,85%	7.473,39%	3.827,48%	3.909,69%	9.852,15%
Toxicidad humana	14,92%	4,62%	36,37%	10,59%	10,11%	25,47%
Residuos	168,06%	150,00%	421,53%	371,43%	2,48%	5,37%
Energía no renovable	0,70%	-0,35%	1,05%	-0,70%	-0,75%	-1,85%
Agua	-104,76%	457,14%	-268,25%	1150,79%	-816,46%	-2.060,76%

Fuente: PricewaterhouseCoopers (PwC), 2007

Análisis de sensibilidad

A través de la sensibilización en algunas hipótesis de trabajo en los escenarios de referencia, se analizaron las variaciones en los resultados de los indicadores de impacto estudiados.

Además, para este análisis, se consideraron escenarios E100 y B100, es decir, escenarios que consideran un 100% uso de biocombustibles. En general, dichos escenarios confirman y acentúan los resultados obtenidos con mezclas de 2 y 5%. Para ciertos indicadores, con biocombustibles al 100%, es interesante observar que la etapa de transporte de grano pasa a ser significativa, en particular para el etanol de trigo que tiene menores rendimientos en la etapa agrícola y en la etapa de transformación del biocombustible.

Dentro de la sensibilización realizada, se modificaron las siguientes hipótesis de trabajo obteniendo los siguientes resultados:

- Fijación de carbono de 50 Kg C/ha en el suelo (el escenario de referencia no considera dicha fijación):

Se observó una reducción del efecto invernadero en los tres casos estudiados puesto que al generarse una fijación de carbono en el suelo se reduce las emisiones de CO₂ al aire.

- Reducción de un 20% (vs escenario de referencia) en el consumo de los insumos y consumo energético en la etapa agrícola para el etanol de maíz con el fin de considerar un manejo más sustentable de recursos utilizados en el campo:

Como consecuencia, se observa una reducción en la eutrofización de las aguas y la acidificación del aire debido a una reducción en las emisiones de nitrato (NO_3^-), así como también en la toxicidad humana debido a que se genera una reducción de las emisiones al aire de tetrachlorodibenzo p-Dioxin, compuesto generado por la combustión de diesel en maquinarias utilizadas en el campo.

Se mantienen los mismos indicadores de impactos ambientales favorables a los biocombustibles o a los combustibles fósiles con una reducción de un 20% en los parámetros indicados comparado con el escenario de referencia.

- Cultivo cero labranza en el caso del raps:

Se observa una reducción en el impacto de toxicidad humana debido a que se genera una reducción de las emisiones al aire de tetrachlorodibenzo dioxin, como mencionado anteriormente.

Se mantienen los mismos indicadores de impactos ambientales favorables a los biocombustibles o a los combustibles fósiles con un escenario cero labranza 100% quema comparado con el escenario de referencia.

- La no quema de rastrojos o la quema parcial de rastrojos en el campo (vs quema total en el escenario de referencia):

Permite una reducción significativa en el impacto de acidificación del aire, reflejándose en los óxidos nitrosos (SO_x) y amoníaco (NH_3) como principales reducciones.

Los resultados de este análisis de sensibilidad muestran que para el escenario de 50% reducción de quema para el maíz y la no quema de rastrojos de raps cero labranza, mantiene las tendencias observadas para los indicadores de impactos ambientales.

Se mantienen los mismos indicadores de impactos ambientales favorables a los biocombustibles o a los combustibles fósiles con un escenario de raps cero labranza sin quema y un escenario de 50% reducción de quema para el maíz comparado con el escenario de referencia.

- Importación de biodiesel desde Argentina:

Dado que este escenario considera únicamente las etapas de transporte del biocombustible desde la frontera de Argentina y Chile hacia nuestro país y su combustión en un centro de mezcla ubicado en Santiago, los resultados presentan una reducción de los diferentes impactos comparado con los escenarios de referencia de producción de biocombustible.

Se observa que todos los indicadores de impacto ambientales son favorables a las mezclas de un 2% y 5% y 100% de biodiesel. Es importante resaltar que si bien, todos los indicadores de impacto son favorables bajo este escenario, no mide los reales impactos ambientales a nivel global si se considera TODA la cadena de producción del biodiesel.

Además, es importante tomar en cuenta que, bajo cualquier escenario de importación de biocombustibles, será necesaria la consideración de medidas que resguarden la independencia energética nacional.

Recomendaciones

Es importante mencionar que la metodología de ACV es indiferente entre tiempo y espacio. Es así como, en la presentación de los resultados, los impactos locales y globales se consideran de manera conjunta, por tratarse de un ACV desde la cuna a la tumba. Además, no se discrimina entre una contaminación crónica y aguda puesto que en la agregación de flujos, no contempla la duración de la emisión ni el volumen de disolución o dispersión de la emisión. Por consiguiente, cabe recordar que la metodología utilizada permite dar resultados a indicadores de impacto ambiental pero dichos resultados no permiten analizar el impacto de las emisiones en los diferentes medios locales en los cuales se producen.

En cuanto a la utilización de los resultados, se recomienda no extrapolar los resultados numéricos, puesto que éstos representan los impactos de toda la cadena de producción más allá de las fronteras nacionales al incluir etapas ocurridas fuera de éstas.

El presente estudio constituye un primer paso en el análisis del desempeño ambiental de escenarios de desarrollo de biocombustibles en Chile, entregando resultados cuantificados y comparativos por indicadores de impactos ambientales. A futuro, será importante para Chile contar con estudios más amplios de la monetización de las externalidades ambientales y de los efectos externos inducidos por la cadena de producción de biocombustibles en Chile. Este tipo de trabajo, complementario a una metodología del tipo ACV, facilitaría la jerarquización de los indicadores de impactos ambientales y podría permitir avanzar en el análisis socio-económico de los impactos del desarrollo de los biocombustibles.

SECCION VII – Anexos

26 Indicadores de Impacto Ambiental estudiados

Se presentan los indicadores de impactos ambientales a considerar en un ACV, los cuales se gestionaron a través del software TEAM en base a los flujos establecidos para cada impacto.

- Contribución al efecto invernadero (100 años) (Unidad: gr. eq CO₂)

IPCC, Gases de Efecto Invernadero (directo, 100 años)	Unidad	Potencial de calentamiento global
(a) Dióxido de Carbono (CO ₂ fósil)	gr.	1
(a) Tetrafluorocarbono (CF ₄)	gr.	5700
(a) CFC 11 (CFCl ₃)	gr.	4600
(a) CFC 114 (CF ₂ ClCF ₂ Cl)	gr.	9800
(a) CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	gr.	10600
(a) CFC 13 (CF ₃ Cl)	gr.	14000
(a) Halón 1301 (CF ₃ Br)	gr.	6900
(a) HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	gr.	1900
(a) Metano (CH ₄)	gr.	23
(a) Oxido Nitroso (N ₂ O)	gr.	296

Nota: (a) representa emisiones al aire

- Acidificación del aire (Unidad: gr. eq H⁺)

CML, Acidificación del Aire	Unidad	Coefficiente acidificación
(a) Amoniac (NH ₃)	gr.	0,0588
(a) Ácido clorhídrico (HCl)	gr.	0,0274
(a) Cianuro de hidrógeno (HCN)	gr.	0,0370
(a) Fluoruro de hidrógeno (HF)	gr.	0,0500
(a) Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	gr.	0,0588
(a) Óxidos de Nitrógeno (NO _x como NO ₂)	gr.	0,0217
(a) Óxidos de Azufre (SO _x como SO ₂)	gr.	0,0313
(a) Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	gr.	0,0204

Nota: (a) representa emisiones al aire

- Contaminación fotoquímica (Unidad: gr. eq Etileno)

WMO, Formación Oxidantes Fotoquímicos	Unidad	Coefficiente contaminación fotoquímica
(a) Acetaldehído (CH ₃ CHO)	gr.	0,527
(a) Acetona (CH ₃ COCH ₃)	gr.	0,178
(a) Acetileno (C ₂ H ₂)	gr.	0,168
(a) Alcohol (sin especificar)	gr.	0,196
(a) Aldehído (sin especificar)	gr.	0,443
(a) Alqueno (sin especificar)	gr.	0,398
(a) Hidrocarburos aromáticos (sin especificar)	gr.	0,761
(a) Benzaldehídos (C ₆ H ₅ CHO)	gr.	(-)0,334
(a) Benceno (C ₆ H ₆)	gr.	0,189
(a) Butano (n-C ₄ H ₁₀)	gr.	0,41
(a) Butano (1-CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃)	gr.	0,959
(a) Etano (C ₂ H ₆)	gr.	0,082
(a) Etanol (C ₂ H ₅ OH)	gr.	0,268
(a) Etilbenceno (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	gr.	0,593
(a) Etileno (C ₂ H ₄)	gr.	1
(a) Formaldehído (CH ₂ O)	gr.	0,421
(a) Heptano (C ₇ H ₁₆)	gr.	0,529
(a) Hexano (C ₆ H ₁₄)	gr.	0,421
(a) Hidrocarburo (excepto metano)	gr.	0,416
(a) Hidrocarburos (sin especificar)	gr.	0,377
(a) Ketone (sin especificar)	gr.	0,326
(a) Metano (CH ₄)	gr.	0,007
(a) Metanol (CH ₃ OH)	gr.	0,123
(a) Propano (C ₃ H ₈)	gr.	0,42
(a) Propionaldehído (CH ₃ CH ₂ CHO)	gr.	0,603
(a) Propileno (CH ₂ CHCH ₃)	gr.	1,03
(a) Tetracloroetileno (C ₂ Cl ₄)	gr.	0,005
(a) Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	gr.	0,563
(a) Tricloroetileno (C ₂ Cl ₃ CHCl)	gr.	0,066
(a) Compuestos Orgánicos Volátiles	gr.	0,377

Nota: (a) representa emisiones al aire

- Eutrofización de las aguas superficiales (Unidad: gr. eq PO₄)

CML, Eutrofización (Agua)	Unidad	Coefficiente eutrofización
(w) Amonio, Amoniaco(NH ₄ ⁺ , NH ₃ , como N)	gr.	0,42
(w) DQO	gr.	0,022
(w) Nitrato (NO ₃ ⁻)	gr.	0,095
(w) Nitrito (NO ₂ ⁻)	gr.	0,13
(w) Material Nitrogenado (Kjeldahl, como N)	gr.	0,42
(w) Material Nitrogenado (sin especificar)	gr.	0,42
(w) Fosfatos (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄)	gr.	3,06
(w) Material Fosfatado (sin especificar, como P)	gr.	3,06
(w) Fósforo (P)	gr.	3,06
(w) Anhídrido fosfórico (P ₂ O ₅)	gr.	1,336

Nota: (w) representa emisiones al agua

- Toxicidad humana, unidad: gr. eq. 1,4-DCB

CML 2000, Toxicidad Humana	Unidad	Coefficiente toxicidad humana
(a) Amoníaco (NH ₃)	gr.	0,1
(a) Antimonio (Sb)	gr.	6700
(a) Arsénico (As)	gr.	350000
(a) Bario (Ba)	gr.	760
(a) Benceno (C ₆ H ₆)	gr.	1900
(a) Berilio (Be)	gr.	230000
(a) Cadmio (Cd)	gr.	150000
(a) Disulfuro de carbono (CS ₂)	gr.	2,4
(a) Cromo (Cr VI)	gr.	3400000
(a) Cobalto (Co)	gr.	17000
(a) Cobre (Cu)	gr.	4300
(a) Dicloroetano (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	gr.	6,8
(a) Dioxinas (sin especificar)	gr.	1900000000
(a) Etilbenceno (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	gr.	0,97
(a) Etileno (C ₂ H ₄)	gr.	0,64
(a) Formaldehído (CH ₂ O)	gr.	0,83
(a) Ácido Clorhídrico (HCl)	gr.	0,5
(a) Fluoruro de hidrógeno (HF)	gr.	2900
(a) Ácido Sulhídrico (H ₂ S)	gr.	0,22
(a) Plomo (Pb)	gr.	470
(a) Mercurio (Hg)	gr.	6000
(a) Molibdeno (Mo)	gr.	5400
(a) Níquel (Ni)	gr.	35000
(a) Oxido de Nitrógeno (Nox como NO ₂)	gr.	1,2
(a) Fenol (C ₆ H ₅ OH)	gr.	0,52
(a) Selenio (Se)	gr.	48000
(a) Tetracloroetileno (C ₂ Cl ₄)	gr.	5,5
(a) Talio (Tl)	gr.	430000
(a) Tin (Sn)	gr.	1,7
(a) Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	gr.	0,33
(a) Tricloroetileno (CCl ₂ CHCl)	gr.	34
(a) Vanadio (V)	gr.	6200
(a) Policloruro de vinilo PVC (CH ₂ CHCl)	gr.	84
(a) Zinc (Zn)	gr.	100

Nota: (a) representa emisiones al aire

CML 2000, Toxicidad Humana	Unidad	Coefficiente toxicidad humana
(s) Arsénico (As)	gr.	1000
(s) Atrazina (C ₈ H ₁₄ ClN ₅)	gr.	0,88
(s) Cadmio (Cd)	gr.	67
(s) Cobre (Cu)	gr.	1,3
(s) Plomo (Pb)	gr.	290
(s) Mercurio (Hg)	gr.	1100
(s) Molibdeno (Mo)	gr.	3100
(s) Nickel (Ni)	gr.	200
(s) Selenio (Se)	gr.	28000
(s) Talio (Tl)	gr.	120000
(s) Tin (Sn)	gr.	0,52
(s) Vanadio (V)	gr.	1700
(s) Zinc (Zn)	gr.	0,42

Nota: (s) representa emisiones a la tierra

CML 2000, Toxicidad Humana	Unidad	Coefficiente toxicidad humana
(w) Arsénico (As ³⁺ , As ⁵⁺)	gr.	950
(w) Bario (Ba ⁺⁺)	gr.	630
(w) Benceno (C ₆ H ₆)	gr.	1800
(w) Cadmio (Cd ⁺⁺)	gr.	23
(w) Cloroformo (CHCl ₃ , HC ₂ O)	gr.	13
(w) Cromo (Cr III)	gr.	2,1
(w) Cromo (Cr VI)	gr.	3,4
(w) Cobalto	gr.	97
(w) Cobre (Cu ⁺ , Cu ⁺⁺)	gr.	1,3
(w) Dicloroetano (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	gr.	28
(w) Etilbenceno (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	gr.	0,83
(w) Formaldehido (CH ₂ O)	gr.	0,037
(w) Plomo (Pb ⁺⁺ , Pb ⁴⁺)	gr.	12
(w) Mercurio (Hg ⁺ , Hg ⁺⁺)	gr.	1400
(w) Cloruro de metileno (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	gr.	1,8
(w) Molibdeno (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)	gr.	5500
(w) Nickel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	gr.	330
(w) Fenol (C ₆ H ₅ OH)	gr.	0,049
(w) Selenio (Se II, Se IV, Se V)	gr.	56000
(w) Tetracloroetileno (C ₂ Cl ₄)	gr.	5,7
(w) Tin (Sn ⁺⁺ , Sn ⁴⁺)	gr.	0,017
(w) Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	gr.	0,3
(w) Tricloroetano (1m1m1-CH ₃ CCl ₃)	gr.	16
(w) Tricloroetileno (CCl ₂ CHCl)	gr.	33
(w) Vanadio (V ³⁺ , V ⁵⁺)	gr.	3200
(w) Policloruro de vinilo PVC (CH ₂ CHCl)	gr.	140
(w) Zinc (Zn ⁺⁺)	gr.	0,58

Nota: (w) representa emisiones al agua

27 Bibliografía

Papers

2006. Characterization of Crude Glycerol from Biodiesel Production from Multiple Feedstocks, Biodiesel Tech Notes. Department of Biological and Agricultural Engineering at the University of Idaho.

2006. Marta Alfaro, Francisco Salazar. Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soil as affected by the source of fertilizer. INIA Remehue, Osorno, Chile.

2005. Marta Alfaro, Francisco Salazar. Pérdidas de N por arrastre y lixiviación bajo dos cargas animales en sistemas de producción de carne en el sur de Chile. INIA Remehue, Osorno, Chile.

2002. Edmundo Acevedo H, y Paola Silva C. Sistema de Labranza y Sustentabilidad Agrícola en cultivos anuales. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Proyecto Fondef D99I1081.

2001. Las emisiones de amoniaco de origen agrícola en la atmósfera. CORPEN y el Centro Europeo de Ecotoxicidad y Toxicología.

1999. Héctor Manterola B, y Jorge Mira J. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile, 222 p.

1996. Estimates of nitrous oxide emissions from soil in the UK. Energy Convers, SKIBA U,M, McTAGGART IP, SMITH KA, HARGREAVES KJ, FOWLER D.

Estudios

2007. Comité Público-Privado de Bioenergía - Informe Final, Versión Preliminar, ODEPA.

2007. Evaluación Socioeconómica y Balance Energético de la Cadena Productiva desde la Producción de Materia Prima hasta la Elaboración de Biodiesel y Etanol en Chile, a partir de los Cultivos Agrícolas Tradicionales. Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago, Chile.

2006. Almada, Miguel. Análisis de la Producción de materias primas para la elaboración de etanol y biodiesel, y de estos biocombustibles, presente y esperada hasta 2020, en países potencialmente proveedores de Chile. Estudio realizado durante una estadía profesional en la FAO.

2006. Arellano, M. Soledad; Valdés, Salvador. La industria de los combustibles líquidos: El caso de Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

2006. Balance Nacional de Energía 2005. Comisión Nacional de Energía (CNE), Disponible en [<http://www.cne.cl>]. Santiago, Chile.

2006. Cultivos anuales: superficie y producción, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Disponible en [<http://www.odepa.gob.cl>], Santiago, Chile.

2006. Fernández, Marcela. Análisis comparativo de Políticas y Legislaciones referente a Bioenergía. Informe de Consultoría para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Representación en Chile.

2006. Impacto en Contaminación Atmosférica en ciudades debido al uso de mezclas de Etanol y Gasolina. CONAMA, Santiago, Chile.

2006. McCormick, A, Williams, J, Ireland, M, Brimhall, and R, Hayes. Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions, NREL.

2005. Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos para el transporte, Fase I: Análisis de Ciclo de Vida comparativo cereales y de la gasolina. CIEMAT, Madrid, España.

2004. Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el caso de Chile (actualización). Proyecto GEF/PNUD CHI/96/G31, División Ingeniería Química y Bioprocesos Área Contaminación Atmosférica, DICTUC, Santiago, Chile.

2003. Evaluación de los efectos externos económicos, sociales y ambientales de la cadena de producción de biodiesel en Francia – informe final. PricewaterhouseCoopers – Ecobilan, France.

2003. IPCC, Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. European Commission.

2000. Análisis de Ciclo de Vida de las emisiones de Combustibles alternativos para vehículos pesados. CSIRO Informe de investigación atmosférica C/0411/1,1/F2 para el departamento australiano de gases de efecto invernadero, Australia.

1998. Inventario de Ciclo de Vida del Biodiesel del petróleo diesel para el uso en buses urbanos. Departamento de agricultura y de energía, EEUU.

Principales Fuentes Electrónicas

<http://www.biodiesel.org>

<http://www.ebb-eu.org>

<http://www.energea.at>

<http://www.biodiesel-intl.com>

<http://www.nrel.gov>

Presentaciones en el marco del Seminario Internacional “Agroenergía y Biocombustibles” y del Comité Público-Privado de Bioenergía conformado,

1. “Fundamentos para una Política Nacional de Biocombustibles”, Sr, André Laroze, Jefe de Bioenergía, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, 10 de octubre de 2006.
2. “El sector forestal y la bioenergía”, Sra, María Teresa Arana, Gerente de Estudios, Corporación Chilena de la Madera, CORMA, 27 de octubre de 2006.
3. “Antecedentes para una política nacional de bioenergía”, Sr, Rigoberto Turra, Presidente Nacional, Movimiento Unitario de Campesinos y Etnias de Chile, MUCECH, 27 de octubre de 2006.

4. "Biocombustibles", Sr, Francisco Gana, Sociedad Nacional de Agricultura, SNA, 27 de octubre de 2006.
5. "Biocombustibles: Una nueva alternativa energética para Chile", Sr, Felipe Lyon, Gerente General, Empresas IANSA S,A, 14 de noviembre de 2006.
6. "Biodiesel América: Presentación ante el Comité Público-Privado de Bioenergía", Sr, Alfonso Molina, Gerente General, Biodiesel de América, BDA, 14 de noviembre de 2006.
7. "Aspectos a considerar en un programa de producción de biocombustibles en Chile", Sr,Patricio Cavieres, Comisión de Agroenergía, Colegio de Ingenieros Agrónomos, CIA, 28 de noviembre de 2006.
8. "Agenda de los biocombustibles en Chile", Sr, Aquiles Neuenschwander, Fundación para la Innovación Agraria, FIA, 28 de noviembre de 2006.
9. "Aspectos ambientales de los biocombustibles en Chile", Sr, Fernando Farías, Departamento de Control de la Contaminación, Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, 28 de noviembre de 2006.
10. "Biocombustibles: Criterios de sustentabilidad", Sra, María Isabel Manzur, Fundación Sociedades Sustentables, FSS y Sra, Sara Larraín, Programa Chile Sustentable, PCS, 12 de diciembre de 2006.
11. "Biocombustibles: Desafíos estratégicos e instrumentos de apoyo", Sra, Alejandra Labarca, Subgerencia de Inversión y Desarrollo, Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, 12 de diciembre de 2006.