Universidad de Buenos Aires
Facultad de Agronomía
Escuela para Graduados Alberto Soriano

Especialización en Gestión Ambiental de Sistemas Agroalimentarios

TRABAJO FINAL

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la producción de biodiesel (B100) en Argentina

Ing. Amb. Luis Panichelli

Tutor: Ing. Luis Trama
Co-tutor: Ing. Arnaud Dauriat

Noviembre 2006

Hoja en blanco

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se realizó en el LASEN-EPFL (Laboratory of Energy Systems-Ecole Politechnique Fédérale de Lausanne).
Se ofrece un especial agradecimiento al Ing. Arnaud Dauriat (co-tutor de tesis) por la dirección de la presente tesis, el consejo y la puesta a disposición de datos, software y metodologías para la realización del estudio.
Se agradece al Ing. Luis Trama (tutor de tesis) por su colaboración y responsabilidad en la dirección de la tesis.
Un gran número de personas han colaborado en el aprovisionamiento de datos. Entre ellos se agradece especialmente al Ing. Jorge Hilbert y a la Lic. Luciana Moltoni del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-INTA) y al Ing. Andrés Leone de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación.
Finalmente, un especial agradecimiento a las Ing. Silvia Ratto y Lidia Giuffre por su colaboración a lo largo de la Especialización en Gestión Ambiental de Sistemas Agroalimentarios.

Hoja en blanco

INDICE

RESUMEN **9**

ABSTRACT **10**

INTRODUCCIÓN **11**
Contexto 11
Estructura del informe y Metodología 12

CONCEPTOS GENERALES DE UN ACV **14**
Introducción 14
Definición de meta y alcance 16
Análisis del inventario (AICV) 16
Evaluación del impacto (EICV) 17
Interpretación del ACV 17

DEFINICIÓN DE META Y ALCANCE **18**
Objetivos 18
Sistema en estudio 18
Límites del sistema y alcance del estudio 20
Sistema de referencia 20
Unidad funcional 21
Categorías y metodologías de impacto 21
Calidad de datos 23
Contribuciones 24

ANÁLISIS DE INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL CASO EN ESTUDIO **25**
Introducción 25

Fase agrícola **25**
Introducción 25
Caracterización del sistema 27
Rendimientos 29
Materias primas e insumos 29
Uso de maquinaria y energía 31
Transporte 32
Pérdida de carbono en suelos por deforestación 33
Emisiones de GEI al aire 33

Extracción por solvente y refinación **34**
Introducción 34
Caracterización del sistema 36
Consideración de calidad de datos 39
Rendimientos 39
Asignación entre co-productos 40
Uso de energía 40
Materias primas e insumos 42

Transporte 42
Uso de infraestructura 43

Transesterificación 43
Introducción 43
Caracterización del sistema 45
Consideración de calidad de datos 47
Rendimientos 47
Asignación entre co-productos 47
Uso de energía 48
Materias primas e insumos 48
Transporte 49
Uso de infraestructura 49

Transporte y distribución 49
Introducción 49
Caracterización del sistema 50
Consideración de calidad de datos 50
Transporte, almacenaje y distribución 51

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV) DEL CASO EN ESTUDIO 52
Introducción 52
Demanda energética acumulada (DEA) 52
IPCC 2001 (GWP 100a, Cambio Climático) 53
Comparación del sistema de estudio y los casos de referencia 53

INTERPRETACIÓN DE CICLO DE VIDA DEL CASO EN ESTUDIO 58
Contribución relativa al impacto 58
Análisis de Sensibilidad 63
Asignación de co-productos en función del contenido energético. 63
Sensibilidad de variables en la fase agrícola. 64
Comparación con los sistemas de referencia 66

CONCLUSIONES 67

BIBLIOGRAFIA 69

ANEXOS 72

DICTAMEN UBA 89

ACRONISMOS

AACREA	Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola
ACV	Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment)
AICV	Análisis de Inventario de Ciclo de Vida
ARG	Argentina
B10	Mezcla 10% biodiesel y 90% diesel convencional
B100	Biodiesel puro (100%)
$B100_{soja, ARG}$	Producción de biodiesel puro de soja en la Argentina
$B100_{colza, CH}$	Producción de biodiesel puro de colza en Suiza
$B100_{colza, EU}$	Producción de biodiesel puro de colza en la Unión Europea
$B100_{soja, BR}$	Producción de biodiesel puro de soja en el Brasil
$B100_{soja, US}$	Producción de biodiesel puro de soja en los Estados Unidos
B20	Mezcla 20% biodiesel y 80% diesel convencional
B5	Mezcla 5% biodiesel y 95% diesel convencional
BR	Brasil
CERA	Cumulative Energy Requirements Análisis
CH	Suiza (Confederation Helvetique)
CO_2 eq.	Dióxido de carbono equivalente
DEA	Demanda energética acumulada (Cumulative Energy Demand)
Ecoinvent	Swiss Centre for Life Cycle Inventories
EICV	Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida
EPFL	Ecole Politechnique Fédérale de Lausanne (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne)
FU	Unidad Funcional (Functional Unit)
GEI	Gases de Efecto Invernadero (Greenhouse gases)
GWP	Potencial de calentamiento global (Global Warming Potencial)
HHV	Poder calorífico superior (High Heating Value)
IDIED	Instituto de Investigaciones en Economía (Universidad Austral)
IPCC	Panel Inter-gubernamental de Cambio Climático (Inter-governmental Panel of Climate Change)
ISO	Internacional Standard Organization
LASEN	Laboratory of Energy Systems
MJp	Megajoule primario
N	Nitrógeno elemental
N_2O	Óxidos de Nitrógeno
NH_3	Amoníaco
NO_3	Nitratos
NPK	Formulado fertilizante de nitrógeno, fósforo y potasio

P2O5	Fosfatos
SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos
SP_SC	Soja de Primera en siembra convencional
SP_SD	Soja de Primera en siembra directa
SS_SC	Soja de Segunda en siembra convencional
SS_SD	Soja de Segunda en siembra directa
tkm	Tonelada Kilómetro
UE /EU/ RER	Unión Europea (European Union)
US	Estados Unidos (United States)

RESUMEN

El ACV es una herramienta de gestión ambiental que evalúa de modo sistemático los aspectos ambientales y los impactos ambientales potenciales de un producto a través del análisis de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima, su producción, uso, tratamiento final, reciclado y disposición final.
El presente trabajo estudia el impacto ambiental de la producción de biodiesel de soja (materia prima) en Argentina con destino de exportación a través del análisis de su ciclo de vida. El estudio pretende mostrar el posicionamiento de la Argentina a nivel internacional para la producción de biodiesel puro en relación a la demanda energética y el potencial de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
El sistema en estudio (producción de biodiesel puro de soja en Argentina para su exportación a Suiza) se comparó con sistemas de referencia de la base de datos Ecoinvent, concretamente: Producción de biodiesel puro de soja en Brasil y en Estados Unidos, producción de biodiesel puro de colza en la Unión Europea y en Suiza. En todos los casos los sistemas se modelizaron para su importación en Suiza.
El sistema se subdividió en cuatro procesos unitarios, específicamente: Fase agrícola (producción del grano de soja), extracción y refinación (producción de aceite refinado), transesterificación (producción de biodiesel puro) y transporte y distribución en Suiza. En la fase agrícola se modelizó el sistema en función de los cuatro sistemas productivos existentes actualmente en Argentina, siendo estos la producción de soja de primera y de segunda en siembra directa y la producción de soja de primer y de segunda en labranza convencional.
Todos los sistemas se definieron para 1 kg de metil-ester y las categorías de impacto evaluadas fueron el consumo de energía primaria no renovable y el potencial de emisión de gases de efecto invernadero.
Los resultados del estudio muestran que el impacto ambiental de la producción de metil-ester está estrictamente ligado a la fase agrícola. Para los indicadores evaluados el impacto ambiental es menor para el caso Argentina, en comparación con los casos de referencia, a excepción del caso Estados Unidos.
En cuanto a la sensibilidad del sistema, el rendimiento de los cultivos bajo cada sistema productivo es fundamental para determinar el impacto ambiental de todo el sistema. El uso de combustibles, glifosato y fertilizantes fosforados son factores de importancia del impacto ambiental. A su vez, la cosecha es el principal contribuyente al consumo energético para todos los sistemas productivos y a la emisión de GEI para los sistemas bajo labranza convencional.
Las emisiones de óxidos de nitrógeno son el principal contribuyente a las emisiones de GEI en sistemas de siembra directa. Por otro lado, para los sistemas de labranza convencional resulta significativo el impacto de la utilización del arado de disco doble, para ambas categorías de impacto.
El presente trabajo da una visión global del impacto ambiental del sistema en estudio en función de dos indicadores estándar. A fin de evaluar la producción de biodiesel en Argentina se debe realizar un análisis completo de ciclo de vida incluyendo otros indicadores ambientales (degradación de suelos, emisiones al agua y al suelo, pérdida de biodiversidad), co-productos del sistema, consumo local del biodiesel y exportación a otras regiones, otras materias primas (girasol, colza, cártamo), tecnologías de producción, tamaño de planta, otras formulaciones (B5, B20) y su corte con combustibles convencionales.

ABSTRACT

The life cycle assessment is an environmental management tool that systematically evaluates the environmental aspects of a good or service, from raw materials acquisition, production, use, recycling and final disposal.
The present work studies the environmental impact of soybean biodiesel production in Argentina for export, through its life cycle. The aim of the study is to evaluate the international position of Argentina as a biofuels' producer from the environmental point of view.
The system under study was compared with reference cases available in the Ecoinvent database, namely: soybean biodiesel production in Brazil and the United States (US), rape seed biodiesel production in the European Union and Switzerland. In all cases the systems are modelled for its importation in Switzerland.
The system was divided in four unitary processes, namely: agricultural phase (soybeans' production), soybean oil extraction and refining, transesterification of soybean oil (metil-ester production) and transport and distribution in Switzerland.
The agricultural phase was modelled in function of the four production systems available in Argentina, namely: First and second type soybeans' production under direct sowing and first and second type soybeans' production under conventional sowing.
The systems were defined for 1 kg of metil-ester. The environmental impact indicators were the primary non renewable energy consumption and the greenhouse gases emissions potential.
Results show that the environmental impact of the whole system is strictly determined by the impact of the agricultural phase. For the selected indicators, the environmental impact of the system is lower in Argentina, compared with the reference cases, with exception of the US case.
The sensibility analysis has determined that the agricultural production yields are a fundamental parameter for assessing the environmental impact.
The use of non-renewable fuels, glyphosate and phosphate fertilizers are significant contributors to the environmental impact. Moreover, the crops' harvesting is the main contributor to the primary non-renewable energy consumption (for all agricultural systems) and to the GEI emissions (for conventional sowing systems).
Dinitrogen oxides' emissions are the main contributor to the GEI emissions in direct sowing systems. On the other hand, for conventional sowing systems the tillage (ploughing) is a significant factor for both impact categories.
This work gives a general overview of the environmental impact of the evaluated system, under two indicators. In order to asses biodiesel production in Argentina a complete ACV has to been done, considering other environmental indicators (soil erosion, emissions to water and soils, biodiversity looses), systems by-products, local consumption and exportation to other regions, final use, data quality, other crops (sunflower, rape seed, saffron), production technologies, plant size, and biodiesel blending (B5, B20) with conventional fuels.

1. INTRODUCCION

1.1. Contexto

El biodiesel se encuentra en etapa de expansión en el mundo. En la Unión Europea el 81,5 % de la producción de biocombustibles corresponde al biodiesel (EurObserv'ER, 2006) en vistas al ahorro energético y al cumplimiento de los compromisos asumidos en el protocolo de Kyoto.

El 20 de abril de 2006 entró en vigor la ley de biocombustibles en la República Argentina. En consecuencia, según las previsiones realizadas, se deberán producir 650 millones de litros de biodiesel para el año 2010 y 1'090 millones de litros para el 2023 (considerando un 3,5% acumulativo anual de crecimiento del consumo de gasoil) (SAGPyA-IICA, 2005). Esto supone la producción de 3,5 millones de toneladas de soja (1,2 millones de hectáreas) en 2010 para abastecer la totalidad de la demanda. Según datos mundiales de la campaña 2003/2004, Argentina es el tercer productor mundial de soja y el primer exportador mundial de su aceite (Asal y Marcus, 2005a).

El 53% del área total cultivada de granos corresponde a la soja y el 88,8% de esta superficie se encuentra en la región centro del país (Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe). Este potencial hace que la soja sea la principal materia prima a tener en cuenta a la hora de pensar en la producción de biodiesel a corto plazo. Dado el alto valor del aceite de soja en el mercado internacional, la producción de biodiesel solo es viable a partir del grano (Asal y Marcus, 2005b).

Se ha planteado cierta controversia respecto al balance energético del biodiesel. Pimentel y Patzek (2005) consideran que la energía consumida por el proceso de producción es mayor a la energía final generada, mientras que otros estudios (Sheehan *et al.,* 1998) revelan las ventajas energéticas y ambientales (en cuanto a reducción de emisiones CO_2 eq esencialmente) respecto al diesel convencional.

Una de las herramientas de gestión existentes para evaluar el impacto ambiental de un producto es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Sobre la base de una serie de aspectos ambientales predefinidos en el alcance del estudio, esta herramienta permite determinar, desde la "cuna a la tumba", los impactos ambientales generados por el desarrollo, la producción y el uso final de un producto. Típicamente, para el caso de biodiesel, los aspectos ambientales relevantes son el consumo energético y la generación de emisiones de GEI.

El Ecoinvent Centre (Swiss Centre for Life Cycle Assesment) es un referente mundial en el desarrollo de datos de inventario de ciclo de vida. Han generado una extensa base de datos y un software específico para el análisis de ciclo de vida, conteniendo datos industriales internacionales de inventario de ciclo de vida para el suministro

energético, extracción de recursos, suministro de materiales, productos químicos, metales, agricultura, servicios de gestión de residuos y servicios de transporte.
La EPFL (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne) a través del LASEN-ENERS (Laboratory of Energy Systems-ENERS Energy Concepts) ha colaborado en el desarrollo del análisis de ciclo de vida de distintos biocombustibles. Dentro de los sistemas evaluados se estudió la importación de biodiesel de soja en Suiza desde el Brasil y desde los Estados Unidos, la importación de biodiesel de colza desde la Unión Europea y la producción nacional de biodiesel de colza para su consumo interno. El estudio está en etapa de desarrollo y no se encuentra oficialmente publicado. Sin embargo, los datos de inventario y los resultados provisorios ya se han generado. La producción de biodiesel en Argentina para su importación en Suiza no se ha estudiado (Dauriat, 2006).

La aplicación del ACV como herramienta de gestión ambiental en la Argentina no es una práctica frecuente y existen pocos estudios realizados al respecto (Trama, 2006). En consecuencia, hasta el presente no se ha aplicado un análisis sistemático a la evaluación del impacto ambiental de la producción de biodiesel en Argentina. La importancia de dicho análisis radica en conocer el posicionamiento de la Argentina a nivel internacional para la producción del biodiesel desde el punto de vista ambiental y las implicancias ambientales del desarrollo de dicha estructura de producción a nivel nacional.

1.2. Estructura del informe y Metodología

El estudio se basó en la aplicación de las normas ISO 14040 e ISO 14044. En consecuencia, la estructura del informe sigue los lineamientos presentados en dichas normas. Los puntos claves incluidos en el documento son los siguientes:

- ⇒ Definición de la meta y el alcance del estudio.
- ⇒ Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (AICV) del caso en estudio.
- ⇒ Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) del caso en estudio.
- ⇒ Interpretación de los resultados del ACV.
- ⇒ Recomendaciones y conclusiones.

El Capítulo 2 contiene una introducción al Análisis de Ciclo de Vida (ACV), describiendo los conceptos generales de un ACV y las distintas fases involucradas en dicho análisis. El Capítulo 3 se centra en la descripción del inventario de ciclo de vida del sistema en estudio y los sistemas de referencia. El Capítulo 4 presenta la evaluación del impacto de ciclo de vida del sistema bajo estudio y el Capítulo 5 analiza e interpreta dichos resultados en base a los objetivos del estudio. Finalmente, el Capítulo 6 da una serie de recomendaciones y conclusiones en relación al escenario estudiado.

Los datos necesarios para la generación del Inventario fueron obtenidos de fuentes nacionales oficiales y de la base de datos Ecoinvent del Swiss Centre for Life Cycle Inventories (www.ecoinvent.ch), referente mundial como base de datos de Análisis de Ciclo de Vida.

2. CONCEPTOS GENERALES DE UN ACV

2.1. Introducción

El ACV es una herramienta de gestión ambiental que evalúa de modo sistemático los aspectos ambientales y los impactos ambientales potenciales de un producto a través del análisis de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima, su producción, uso, tratamiento final, reciclado y disposición final. Generalmente se define a este análisis como desde la cuna a la tumba.
Las características fundamentales de un ACV, según la Norma ISO 14040:2006 son las siguientes:

- ⇒ Considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción de materia prima y adquisición de la energía, producción y manufactura, hasta el uso, tratamiento al final de vida y la disposición final.

- ⇒ Permite identificar la carga ambiental potencial dentro de las etapas del ciclo de vida, o procesos individuales, con el fin de poder evitarla.

- ⇒ Consigna los aspectos e impactos ambientales de un sistema de producción. Los aspectos e impactos económicos y sociales están fuera del alcance del ACV.

- ⇒ Es una aproximación relativa, que está estructurada alrededor de la unidad funcional. Esta unidad funcional define lo que se estudia. Todos los análisis subsecuentes son relativos a esa unidad funcional.

- ⇒ Es una técnica iterativa. Las fases individuales de un ACV usan resultados de otras etapas, La aproximación iterativa dentro y entre las fases contribuye a la comprensión y consistencia del estudio y de los resultados presentados.

- ⇒ El ACV considera todos los atributos o aspectos del medio natural, salud humana y recursos. Considerando todos los atributos y aspectos dentro de un estudio se pueden identificar y evaluar potenciales compensaciones.

- ⇒ Las decisiones dentro de un ACV se basan fundamentalmente en las ciencias naturales. Si no existe una base científica o una justificación basada en otros enfoques científicos o en convenciones internacionales, las decisiones se deben basar en juicios valorativos.

El ACV se basa en la descripción de un sistema de producción compuesto por unidades de proceso, típicamente, compra de materia prima, producción, uso, reciclado/reuso, tratamiento de residuos, suministro de energía, y transporte (Figura 1). Las unidades de proceso están relacionadas entre sí por flujos de productos intermedios y/ o residuos, con otros sistemas de producción por flujos de producción, y con el ambiente por flujos elementales.

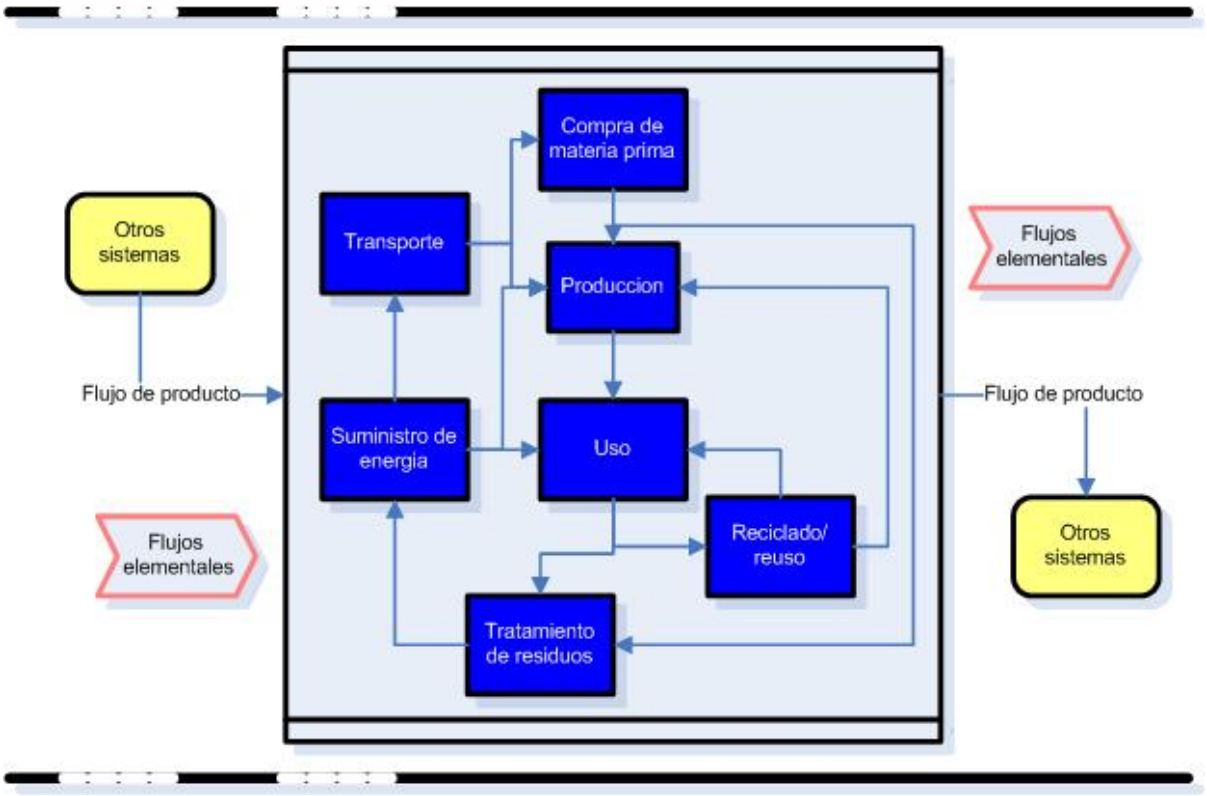


Figura 1. Sistema de producción de un ACV. Fuente: Norma ISO 14040:2006.

La división de un sistema de producción en sus unidades de proceso facilita la identificación de las entradas y salidas de dicho sistema (Figura 2).
El flujo elemental incluye el uso de recursos y emisiones al aire, agua y suelo asociados con el sistema.

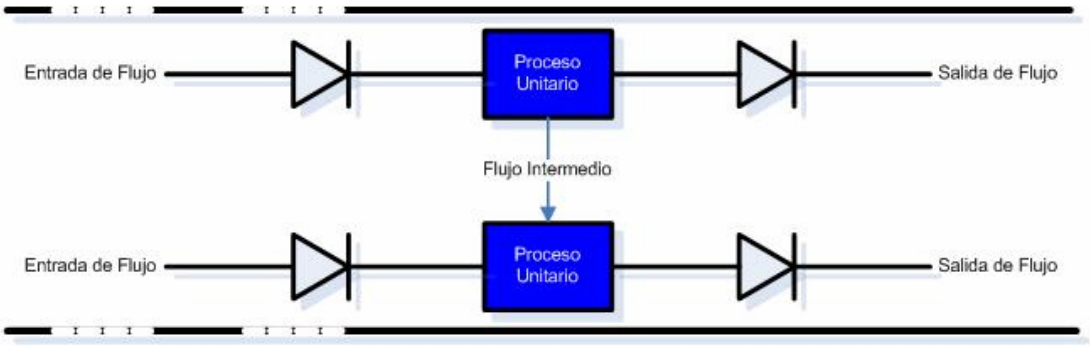


Figura 2. Proceso unitario dentro de un sistema productivo. Fuente: Norma ISO 14040:2006.

Las distintas etapas que comprende un análisis ACV y el esquema general de la metodología se presentan en la Figura 3.

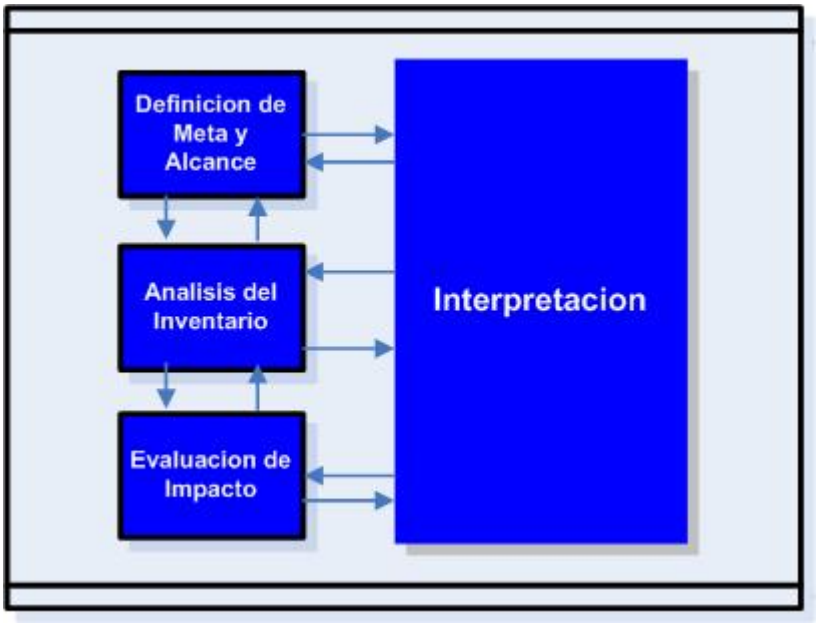


Figura 3. Etapas de un ACV. Fuente: Norma ISO 14040:2006.

A continuación se describen brevemente las diferentes etapas:

2.2. Definición de meta y alcance

El **alcance** incluye el sistema de producción a estudiar, las funciones del sistema de producción, los sistemas involucrados (en el caso de estudios comparativos), la unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación, las categorías de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación e interpretación de impactos, los datos requeridos, las suposiciones e hipótesis utilizadas, las limitaciones, la calidad de datos iniciales requeridos, el tipo de revisión crítica y el tipo y el formato del informe final.
El propósito inicial de una **unidad funcional** es proveer la referencia con la cual las entradas y salidas estén relacionadas. Los **límites del sistema** definen la unidad de producción a ser incluida en el sistema. Idealmente, el sistema de producción debe ser elaborado de tal manera que las entradas y salidas, así como los límites, sean flujos elementales.

2.3. Análisis del inventario (AICV)

El análisis del inventario (AICV) incluye la recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema de producción. Los datos requeridos incluyen por ejemplo el ingreso de energía, el

ingreso de materias primas y entradas auxiliar, productos, co-productos y residuos, emisiones al aire, descargas al agua y al suelo, y otros aspectos ambientales.
El cálculo de datos contempla la validación de datos coleccionados, los datos relacionados a la unidad de producción, y los datos relacionados al flujo de referencia de la unidad funcional.
El AICV es la base para realizar evaluaciones comparativas de impactos ambientales e identificar oportunidades de mejora. En un AICV se genera una lista con las cantidades de contaminantes relacionadas con el medio ambiente y la cantidad de materia y energía consumida.
El AICV puede ser utilizado de diferentes maneras. Puede servir para hacer comparaciones entre productos, procesos o actividades, o para la inclusión de aspectos ambientales en la selección de materiales. Además, pueden contribuir a la generación de políticas y como herramientas de ayuda a la decisión.

2.4. Evaluación de impacto (EICV)

La fase de evaluación de impacto (EICV) en un ACV está dirigida a la evaluación de la significancia de los impactos ambientales potenciales del producto o proceso, usando los resultados del AICV. En general, este proceso incluye los datos de inventario con impactos ambientales específicos y categoría de indicadores para entender estos impactos. La fase de EICV también provee información para la fase de interpretación del ACV.
La EICV constituye el nexo entre el producto o proceso y los potenciales impactos sobre el ambiente.

2.5. Interpretación del ciclo de vida

La interpretación del ciclo de vida es la fase del ACV, en la cual se resumen los hallazgos del análisis del inventario y de la evaluación de impacto. La fase de interpretación brinda resultados que deben ser consistentes con la meta y el alcance, que permitan conclusiones, que expliquen las limitaciones y provean recomendaciones.

El **informe** es una parte integral de un ACV que incluye las diferentes fases del estudio en consideración.
La **revisión crítica** es un proceso para verificar si un ACV ha alcanzado los requisitos en metodología, datos, interpretación e información y la consistencia con los principios.
Para el caso de estudios de ACV de productos sustitutos o nuevos productos, se utiliza la **comparación entre sistemas**, donde se analiza el impacto ambiental de un producto en relación a un producto de referencia.

3. DEFINICION DE META Y ALCANCE

3.1. Objetivos

El presente trabajo estudia el impacto ambiental de la producción de biodiesel puro de soja (materia prima) en Argentina con destino de exportación a través del análisis de su ciclo de vida. El estudio pretende mostrar el posicionamiento de la Argentina a nivel internacional para la producción de biodiesel puro en relación a la demanda energética y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El objetivo del presente ACV se define a continuación:

Determinar el consumo de energía primaria no renovable y el potencial de emisiones de CO_2 equivalente de la producción de biodiesel puro (B100) a partir del cultivo de soja en Argentina, para su exportación a Suiza, a través del análisis de su Ciclo de Vida.

3.2. Sistema en estudio

El sistema en estudio con las distintas etapas comprendidas en el análisis, las entradas, salidas y productos intermedios se muestra en la Figura 4. Los sistemas de referencia siguen exactamente el mismo proceso y fueron modelizados de la misma manera.

El sistema en estudio se define a continuación:

Producción de biodiesel puro de soja en Argentina para su exportación a Suiza ($B100_{soja, ARG}$)

El sistema a estudiar es la cadena de producción del biodiesel puro B100, desde la producción del grano de soja (preparación del terreno, siembra, fertilización, aplicación de agroquímicos y cosecha), transporte, secado y almacenamiento del grano, procesado del aceite (molienda, extracción por solvente), conversión a biodiesel (refinación del aceite, transesterificación), almacenamiento y transporte del biodiesel puro B100 a Suiza.
El sistema se subdivide fundamentalmente en cuatro (4) unidades de proceso:

⇒ Fase agrícola: producción del grano de soja.

⇒ Extracción y refinación: producción de aceite refinado.

⇒ Transesterificación: producción de biodiesel puro.

⇒ Transporte y distribución en Suiza.

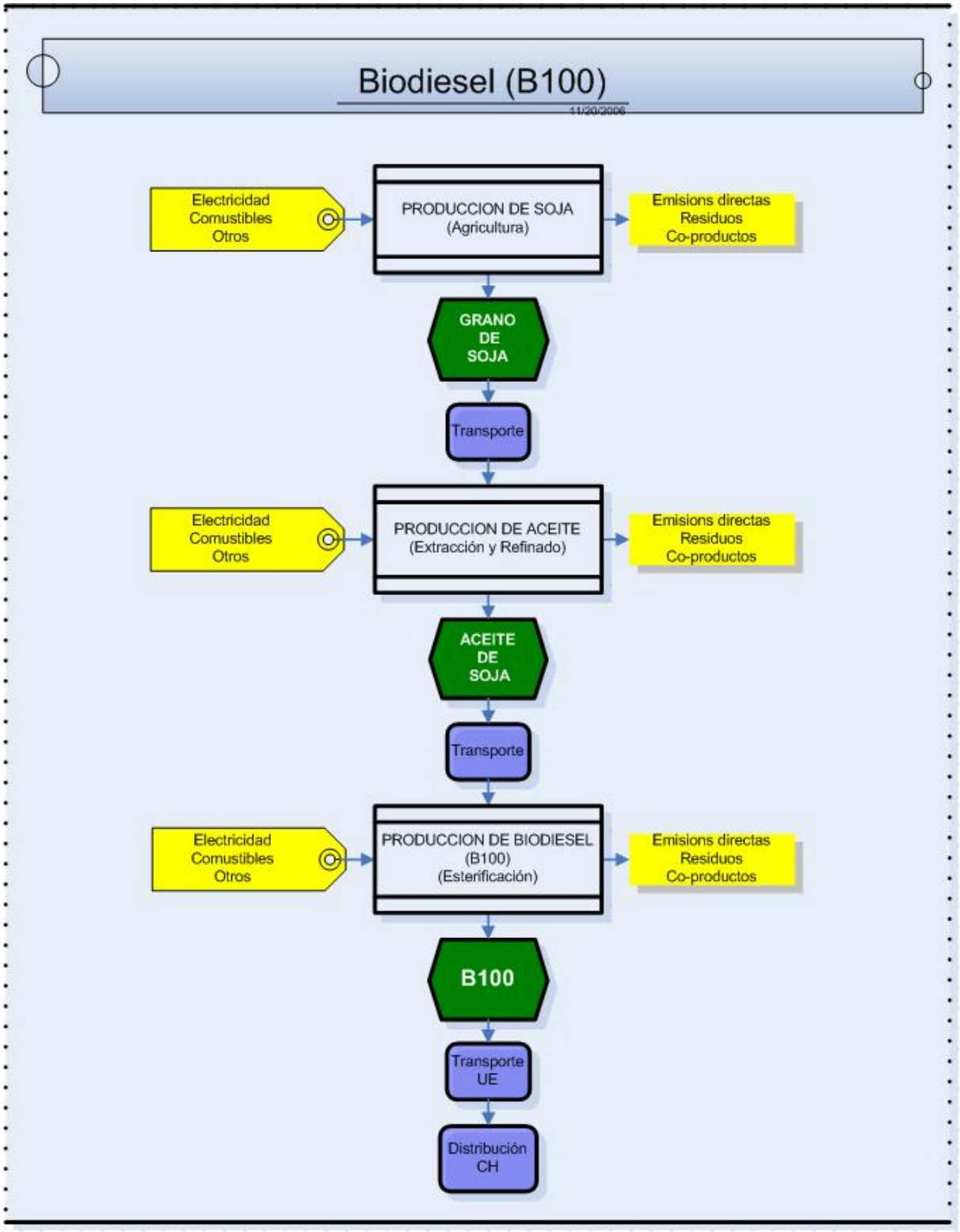


Figura 4. Definición del sistema en estudio y del sistema de referencia.

Se analizaron como co-productos la torta protéica en molienda y producción de aceite y la producción de glicerina en la transesterificación del aceite en el caso de producción de biodiesel.

3.3. Límites del sistema y alcance del estudio

La validez espacial del estudio es la región sojera de la República Argentina. La escala temporal propuesta es a partir del 2010 (año de establecimiento del corte obligatorio al 5% del diesel convencional con el biodiesel) donde se asume una demanda interna asegurada y un mercado internacional de biocombutibles existente.
El corte del biodiesel con el diesel convencional y el uso final de la mezcla no están incluidos en el sistema en estudio ya que se asume que el producto y el impacto ambiental asociado a dicho proceso es el mismo para el sistema en estudio y para los sistemas de referencia ($B100_{soja, US}$, $B100_{soja, BR}$, $B100_{colza, EU}$ y $B100_{colza, CH}$).
Si bien se realizó la asignación de flujos correspondiente para ambos co-productos y se determinaron los impactos ambientales asociados, dicha información no se presenta ya que excede el objetivo del estudio.
En referencia a los procesos de producción de aceite y biodiesel, se ha asumido que se utilizan las mismas tecnologías empleadas a nivel internacional.
Cabe mencionar que sólo se ha analizado el consumo de energía primaria no renovable y el potencial de calentamiento global como categorías de impacto ambiental. Dichas categorías permiten obtener un primer panorama del comportamiento ambiental de la producción de biodiesel en Argentina y las conclusiones que se deriven de la interpretación de dichos resultados son relativas. En efecto, no se ha considerado en el presente estudio el impacto del monocultivo de soja sobre la degradación de suelos, la pérdida de biodiversidad, el uso del suelo, el impacto de la expansión de la frontera agrícola, ni la utilización de organismos genéticamente modificados para la producción de biodiesel. Dichos impactos exceden el objetivo de este estudio y deberían ser tratados en profundidad en una segunda etapa.
El sistema evaluado es relativo a la producción de biodiesel destinado al mercado de exportación, dada la actual estructura agro-exportadora de la Argentina, en especial en el sector oleaginoso. La producción de biodiesel para el consumo interno, según lo estipulado por la ley de biocombustibles exceden los objetivos de este estudio. Dicho sistema debe ser evaluado en profundidad para determinar el panorama completo de la producción de biodiesel en Argentina, tanto para el consumo nacional como internacional, desde el punto de vista ambiental.

3.4. Sistema de referencia

El sistema evaluado se compara con otros sistemas de producción a nivel internacional:

⇒ $B100_{soja, US}$: Producción de biodiesel puro de soja en los Estados Unidos.

⇒ $B100_{soja, BR}$: Producción de biodiesel puro de soja en Brasil.

⇒ $B100_{colza, EU}$: Producción de biodiesel puro de colza en la Unión Europea.

⇒ $B100_{colza, CH}$: Producción de biodiesel puro de colza en Suiza.

En todos los casos los sistemas se modelizan para su importación en Suiza.
Los sistemas de referencia fueron modelizados sobre las mismas bases que el sistema en estudio. El alcance, el sistema en estudio, los limites del mismo, las categorías de impacto ambiental y las metodologías de evaluación e interpretación de dichos impactos se encuentran en línea con los utilizados en el presente estudio.
Los sistemas de referencia fueron modelizados y estudiados por el Swiss Centre for Life Cycle Inventories y se encuentran desarrollados en la base de datos Ecoinvent.

3.5. Unidad funcional

La base de datos Ecoinvent ya contiene los respectivos ACV de los sistemas de referencia y las estimaciones de los impactos asociados a los sistemas de producción.
A fin de poder comparar el sistema en estudio con los sistemas de referencia se ha utilizado la misma unidad funcional y la misma metodología utilizada en Ecoinvent.
La unidad funcional de comparación se define a continuación:

Kg de metil-ester

El valor de inventario resulta de la expresión de cada entrada o salida del inventario en función de la unidad funcional.
Para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica:

⇒ Fase agrícola-cultivo de soja: kg de soja

⇒ Extracción y refinación de aceite de soja: kg de aceite

⇒ Esterificacion del aceite de soja: kg de metil-ester

⇒ Transporte y distribución en Suiza: kg de metil-ester

3.6. Categorías y metodologías de impacto

Las categorías de impacto evaluadas en este estudio son:

⇒ Consumo de energía primaria no renovable (MJp/ $kg_{metil-ester}$)

⇒ Potencial de emisión de gases de efecto invernadero (kg_{CO2}/ $kg_{metil-ester}$)

Las metodologías de impacto ambiental fueron también seleccionadas de la base de datos Ecoinvent y son las siguientes:

⇒ Demanda Energética Acumulada (DEA)

El análisis de requerimientos energéticos acumulados (CERA, Cumulative Energy Requirements Analysis) apunta a investigar el uso de energía a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio. Esto incluye tanto el uso directo como el indirecto (consumo de energía gris) derivado del uso de materiales. El método DEA se utiliza como indicador base para estimar impactos ambientales y obtener una visión general de los impactos ambientales relativos al uso de energía en un ciclo de vida. Los resultados del método DEA pueden utilizarse para comparar los resultados de un estudio detallado de ACV con otros estudios donde la demanda energética acumulada es estimada.
El impacto ambiental de un producto o servicio no puede ser estimado solo en función de la demanda energética. Este método solo tiene sentido en combinación con otros métodos, tal cual explicado en Ecoinvent.
El indicador DEA de Ecoinvent se divide en cinco categorías y no se encuentra agregado en un único valor. Se determina en función del valor energético intrínseco de cada portador de energía (energy carrier). En Ecoinvent el valor intrínseco de energía está determinado por la cantidad de energía que se extrae de la naturaleza. Dicha energía se expresa en MJ-equivalentes (Mega Joules equivalentes) de energía primaria. Para este estudio y para los ACV de biodiesel en general la DEA se basa en la utilización de energías no renovables (fósil y nuclear) y no contempla las otras categorías (renovables).
Para el caso de energías fósiles se utiliza el poder calorífico superior del combustible como factor de caracterización para este método. Para el caso de la energía nuclear se utiliza el contenido energético del isótopo del uranio natural extraído de la naturaleza. La conversión energética depende de la tecnología utilizada y de la gestión del combustible utilizado en el sistema. La descripción detallada del método está disponible en la base de datos Ecoinvent.
La calidad de las estimaciones se considera de baja incertitud técnica ya que los valores utilizados están en línea con los supuestos realizados en la modelización de la base de datos Ecoinvent.

⇒ IPCC 2001 (Cambio Climático)

La caracterización de emisiones gaseosas en función de su potencial de calentamiento global (GWP) y la agregación de distintas emisiones en la categoría de impacto “Cambio Climático” es uno de los métodos más utilizados en el análisis de impacto de ciclo de vida. Los valores de referencia de los gases de efecto invernadero (GEI) se basan generalmente en el GWP publicados por el IPCC (Panel Inter-gubernamental de Cambio Climático).
Este método evalúa las emisiones de GEI de origen antropogénico del sistema en estudio. Si bien existen tres horizontes temporales para determinar el efecto del tiempo de residencia en la atmósfera de los distintos gases, el más utilizado es el horizonte de 100 años y es este método el que se aplicó en este estudio.
El potencial directo de calentamiento global es relativo al impacto del dióxido de carbono. El GWP es un indicador para estimar la contribución relativa al

calentamiento global derivado de emisiones a la atmósfera de un kg de un GEI particular en relación a la emisión de un kg de dióxido de carbono. Los factores de emisión fueron directamente tomados de las tablas correspondientes del IPCC, 2001. Los GEI contemplados en este estudio son el dióxido de carbono (CO_2) y el monóxido de nitrógeno (N_2O). El detalle de la metodología se encuentra disponible en la base de datos de Ecoinvent. Para el caso del CO_2, el mismo peso relativo es utilizado para las emisiones de CO_2 biogénico (proveniente de la biomasa) y para las emisiones de CO_2 fósil. El mismo valor, pero negativo, es utilizado para el CO_2 absorbido por las plantas. De este modo, se asume que las emisiones de CO_2 generadas durante el proceso de producción de un biocombustible son compensadas por la captación de CO_2 durante el proceso fotosintético de crecimiento del cultivo. Esto explica el valor neutro que tiene los sistemas de producción de biocombustibles. Sin embargo, hay factores como la deforestación y el uso de agroquímicos y fertilizantes que alteran este balance natural.
Para el caso del monóxido de nitrógeno, se considera tanto la emisión directa proveniente del proceso de degradación natural del N (nitrógeno) como la emisión indirecta proveniente de la conversión del amonio y de los nitratos. El método utiliza factores de conversión de 1% para el amonio y de 2,5% para los nitratos (NO_3). La emisión original de nitrógeno no contribuye directamente al problema del cambio climático. Las emisiones de N_2O solo se consideran en la fase agrícola.
La incertidumbre de los factores de caracterización no es tratada en la base de datos de Ecoinvent.

3.7. Calidad de datos

La calidad de los datos utilizados se considera adecuada y en línea con los objetivos y alcance del presente estudio.

Dado que la producción de biodiesel en Argentina es una actividad marginal que no se encuentra desarrollada a nivel comercial no existe a nivel nacional un sistema de producción sobre el cual basar el estudio. En consecuencia, se debieron realizar supuestos y estimaciones para poder definir dicho sistema. Esta es una fuente de incertidumbre, ya que no se está analizando un caso concreto sino un escenario futuro.

Cabe destacar algunas consideraciones:

- ⇒ No se cuenta con datos de los rendimientos específicos de los distintos sistemas de producción del grano de soja. En consecuencia, se han asignado rendimientos a cada sistema en función del porcentaje de soja producida bajo cada sistema y del rendimiento promedio nacional de las últimas cinco campañas.

- ⇒ No se cuenta con datos de las tecnologías específicas utilizadas en la producción de aceite (extracción por solvente y refinación) y producción de biodiesel (transesterificación) a escala nacional. Se ha asumido para el sistema en estudio que se utilizan las mismas tecnologías que en la Unión Europea, Suiza, Brasil y Estados Unidos.

- ⇒ No se cuenta con datos específicos de las distancias recorridas para el transporte de materias primas, insumos, co-productos y productos finales. Las mismas fueron estimadas en base a distancias promedio entre los centros de producción y consumo.

- ⇒ No se cuenta con datos sobre la fase de acopio. El consumo energético y las emisiones de gases GEI específicas al acopio del grano de soja no son consideradas en este estudio.

La relevancia de la calidad de los datos fue estudiada a través del análisis de sensibilidad de los diferentes in-puts del sistema.

3.8. Contribuciones

El siguiente trabajo pretende realizar las siguientes contribuciones:

- ⇒ Determinar la demanda energética y el potencial de emisión de GEI del cultivo de soja y la producción de biodiesel.

- ⇒ Evaluar la posición de la Argentina para la producción de biodiesel destinado al mercado internacional desde el punto de vista ambiental.

- ⇒ Servir como herramienta de gestión ambiental a las plantas de producción de biodiesel, a las aceiteras y a los productores agropecuarios.

- ⇒ Servir como documento de soporte a la decisión a organismos gubernamentales en materia de política de biocombustibles.

4. ANÁLISIS DE INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL CASO EN ESTUDIO

4.1. Introducción

El análisis de inventario de ciclo de vida es la fase de obtención, recopilación y estructuración de los datos necesarios para modelizar el estudio. El sistema en estudio se subdivide en unidades de proceso y se definen los elementos (entradas, salidas, productos y co-productos) expresados en función de la unidad funcional.
Los procesos unitarios y los elementos que modelizan el sistema se describen en esta sección (4):

⇒ Fase agrícola: producción del grano de soja.

⇒ Extracción y refinación: producción de aceite refinado.

⇒ Transesterificación: producción de biodiesel puro.

⇒ Transporte y distribución en Suiza.

4.2. Fase Agrícola

4.2.1. Introducción

El cultivo de soja (*Glycine max* L.) representa el 53% de la superficie cultivada con granos y el 46% de la superficie cultivada con dichas especies (SAGPyA-IICA, 2005). En función de la superficie cosechada y del tonelaje producido (Figura 5), Argentina es el tercer productor mundial de soja (después de Estados Unidos y Brasil). El área cosechada de las últimas cinco campañas asciende a 12,5 millones de hectáreas, con una producción de 32,2 millones de toneladas y un rendimiento promedio por hectárea de 2’591 kg.
La producción de soja en Argentina se centra en la región pampeana (Figura 6). Sin embargo, en los últimos años se ha experimentado una fuerte expansión hacia el norte, a costas de la deforestación y el reemplazo de otros cultivos tradicionales de la región (Pengue, 2005). Las principales provincias productoras son Córdoba (29,22%), Buenos Aires (26,11%) y Santa Fe (27,28%), que entre las tres totalizan casi el 83% de la producción nacional de soja (Figura 7).

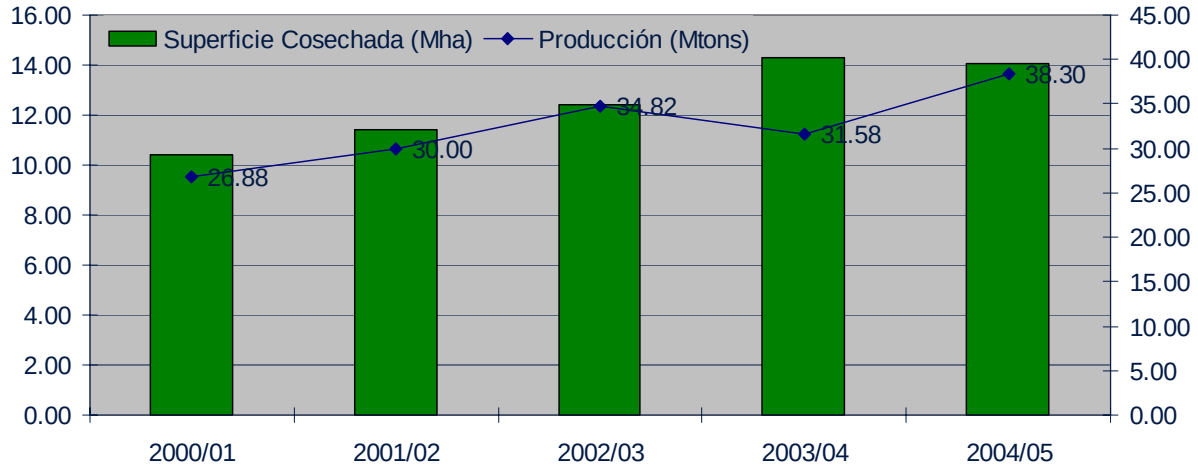


Figura 5. Producción y superficie cultivada de soja (2000-2005). Fuente: SAGPyA, 2006a.

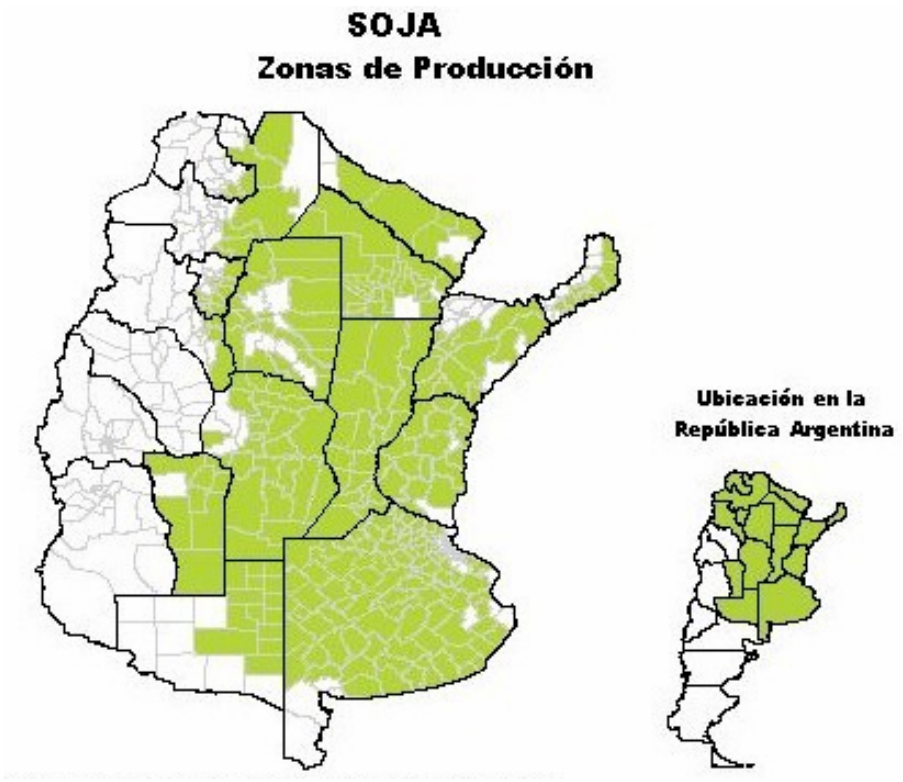


Figura 6. Distribución geográfica del cultivo de soja en función del área promedio sembrada en las últimas cinco campañas. Fuente: SAGPyA, 2006a.

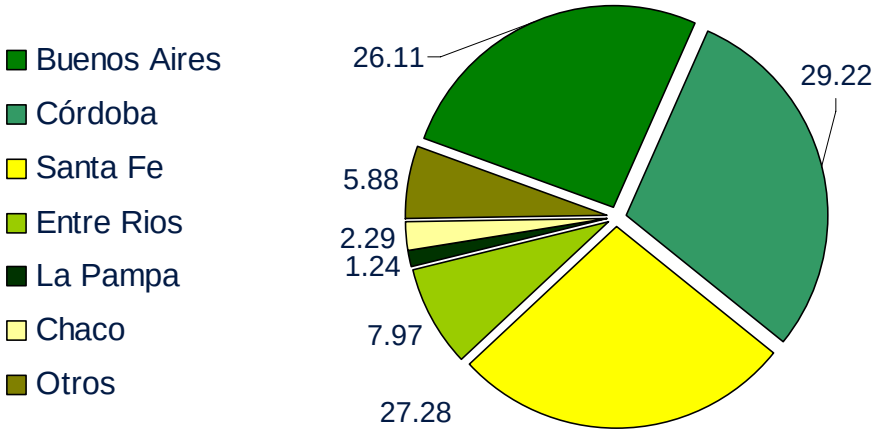


Figura 7. Producción de soja por provincia (Campaña 2004/05). Fuente: SAGPyA, 2006a.

En la actualidad co-existen cuatro sistemas de producción diferentes (Figura 8), siendo la producción de soja de primera en siembra directa el más adoptado en los últimos años.

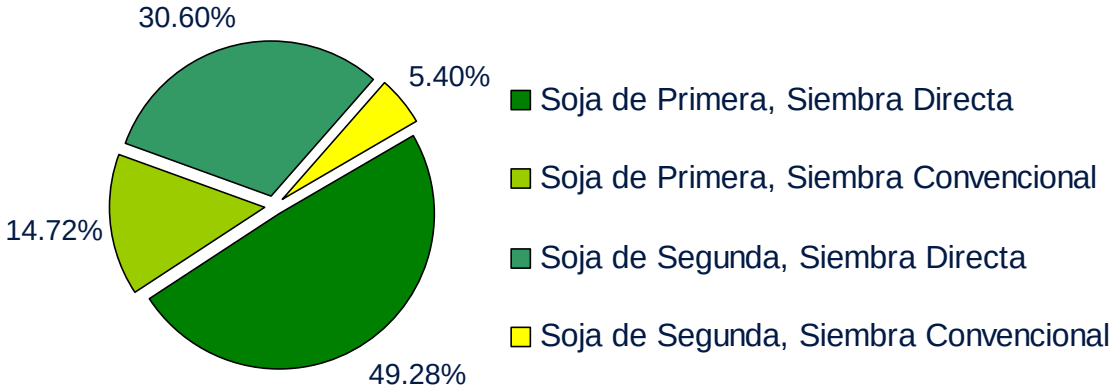


Figura 8. Distribución de la producción de soja por sistema productivo (Campaña 2004/05). Fuente: Elaboración propia a partir de INDEC, 2002, y SAGPyA, 2006a.

4.2.2. Caracterización del sistema

Esta sección (4.2) corresponde a la caracterización de la fase agrícola. La base de datos desarrollada corresponde a la producción de 1 kg de grano de soja en el establecimiento agrícola.
La unidad funcional para esta sección es el kg de grano de soja (materia húmeda). Las propiedades del grano de soja se presentan en la Tabla 1.
El esquema general del cultivo se presenta en la Figura 9. Las entradas del proceso unitario incluyen la semilla de soja, fertilizantes minerales, pesticidas, uso de maquinarias, sistemas de transporte, CO_2 biogénico (fotosíntesis) y energía

biogénica (energía solar captada por el cultivo). El producto final es el grano de soja y se contempla las emisiones al aire de GEI como salida del sistema.
Solo se consideran aquellas entradas y salidas relevantes a las categorías de impacto evaluadas.

Tabla 1. Propiedades del grano de soja.

Parámetro	Valores	Unidades (materia húmeda)
Agua	0,11	kg/kg soja
Contenido de C	0,388	kg/kg soja
Poder Calorífico Superior	20,45	MJ/kg soja
Cd	0,053	mg/kg soja
Cr	0,463	mg/kg soja
Cu	13,4	mg/kg soja
Ni	4,73	mg/kg soja
Pb	0,07	mg/kg soja
Zn	42,45	mg/kg soja

Fuente: Nemecek *et al.*, 2004.

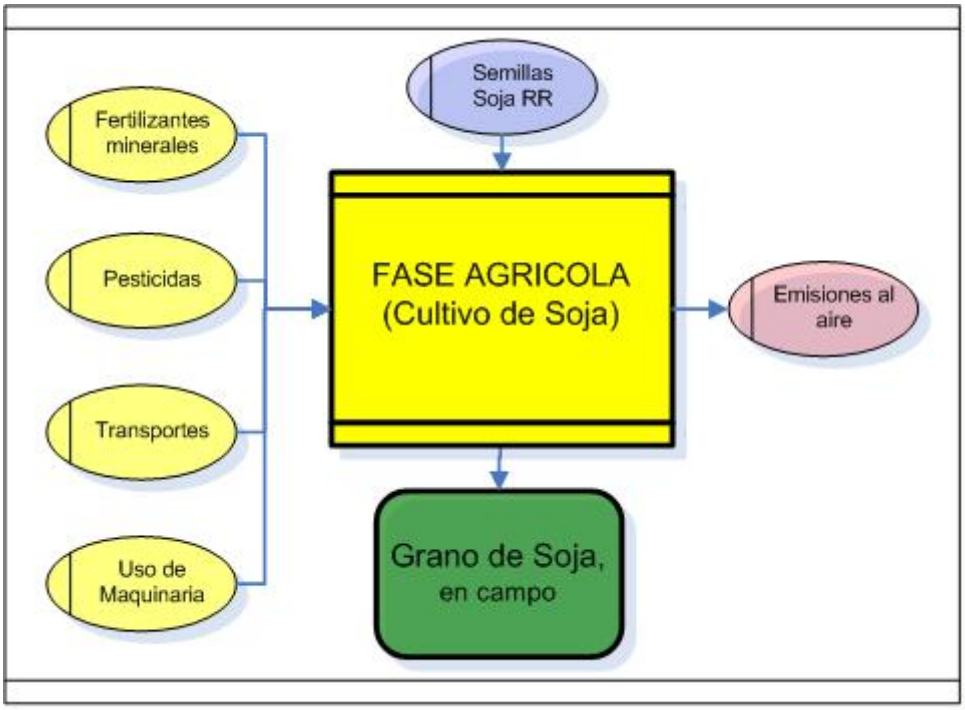


Figura 9. Diagrama de flujo de la fase agrícola (cultivo del grano de soja).

Los cuatros sistemas productivos evaluados son:

⇒ Soja de Primera en siembra directa (SP_SD)

⇒ Soja de Primera en siembra convencional (SP_SC)

⇒ Soja de Segunda en siembra directa (SS_SD)

⇒ Soja de Segunda en siembra convencional (SS_SC)

4.2.3. Rendimientos

Los rendimientos de cada sistema productivo y el promedio nacional de las últimas cinco campañas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Rendimiento del cultivo de soja (últimas cinco campañas, promedio nacional y por sistema productivo).

Rendimientos	Kg/ha
2000/01	2'584
2001/02	2'630
2002/03	2'803
2003/04	2'210
2004/05	2'730
PROMEDIO	2'591,4
SP_SD	3'000 *
SP_SC	2'550 *
SS_SD	2'100 *
SS_SC	1'750 *

* Estimaciones propias en relación al promedio nacional y la distribución de la producción entre los sistemas productivos.
Fuente: SAGPyA, 2006a.

4.2.4. Materias primas e insumos

4.2.4.1. Fertilizantes

Los fertilizantes aplicados en cada sistema productivo se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Fertilizantes aplicados por sistema productivo.

Nombre	Composición (%)			SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
	N	P	K	Kg/ha *			
Fosfato monoamónico, N	12	52	0	2,14	0,00	0,00	0,00
Fosfato monoamónico, P	12	52	0	9,29	0,00	0,00	0,00
Superfosfato triple	0	46	0	3,43	0,00	23,00	23,00

* Los valores corresponden a la división de las dosis aplicadas por la superficie total implantada bajo cada sistema productivo. No en todas las regiones se aplican las mismas dosis. Por esta razón los valores difieren de las aplicaciones de fertilizantes en un cultivo estándar.
Fuente: Elaboración propia a partir de Márgenes Agropecuarios, 2006 y SAGPyA, 2006a.

En la Tabla 4 se presentan los datos del inventario para uso de fertilizantes.

Tabla 4. Uso de fertilizantes -datos de inventario.

Datos de inventario	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
	Kg/ Kg soja			
Monoammonium phosphate, as N	7,15E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Monoammonium phosphate, as P2O5	3,10E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Triple superphosphate, as P2O5	1,14E-03	0,00E+00	1,10E-02	1,31E-02

4.2.4.2. Pesticidas

Las dosis de pesticida aplicadas a cada sistema productivo y los datos de inventario se muestran en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5. Uso de pesticidas –dosis aplicadas por sistema productivo.

Marca comercial	Principio activo	Cons.	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
		(%)	Kg/ha			
Decis Dan	Deltametrina	0,08	0,002	0,035	0,000	0,000
Decis Dan	Endosulfan	0,32	0,008	0,139	0,000	0,000
Decis Forte 10 Ec	Deltametrina	0,1	0,004	0,000	0,000	0,000
Taspa	Difenoconazole	0,25	0,002	0,000	0,000	0,000
Taspa	Propiconazole	0,25	0,002	0,000	0,000	0,000
Cipermin	Cipermetrina	0,25	0,048	0,007	0,038	0,038
Lorsban 48 E	Clorpirifos	0,48	0,612	0,044	0,672	0,672
Lorsban Plus	Cipermetrina	0,05	0,000	0,000	0,035	0,035
Lorsban Plus	Clorpirifos	0,5	0,000	0,000	0,350	0,350
Master	Endosulfan	0,35	0,093	0,000	0,000	0,000
Sencorex 48	Metribuzin	0,48	0,000	0,000	0,528	0,528
Rastra	Acetoclor	0,9	0,000	0,000	2,250	2,250
Round Up Max	Glifosato	0,747	0,923	0,675	0,000	0,000
Round Up	Glifosato	0,36	1,806	0,877	0,000	0,000
Round Up Full	Glifosato	0,64	0,195	0,000	0,000	0,000
2,4-D Magan	2,4-D	1	0,404	0,000	0,000	0,000
Metsulfuron 60 Zamba	Metsulfuron Metil	0,6	0,004	0,000	0,000	0,000
Pivot H	Imazetapyr	0,1059	0,000	0,011	0,000	0,000

* Los valores corresponden a la división de las dosis aplicadas por la superficie total implantada bajo cada sistema productivo. No en todas las regiones se aplican las mismas dosis. Por esa razón los valores difieren de las aplicaciones de pesticida en un cultivo estándar.
Fuente: Elaboración propia a partir de Márgenes Agropecuarios, 2006 y SAGPyA, 2006a.

Tabla 6. Uso de pesticidas -datos de inventario.

Datos de inventario	Marca comercial	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
		Kg/ Kg soja			
Pyretroid-compounds	Decis dan	6,27E-07	1,16E-05	0,00E+00	0,00E+00
Benzoic-compounds	Decis dan	2,51E-06	5,46E-05	0,00E+00	0,00E+00
Pyretroid-compounds	Decis forte 10 ec	1,22E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Diphenylether-compounds	Taspa	5,88E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cyclic N-compounds	TASPA	5,88E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pyretroid-compounds	Cipermin	1,59E-05	2,56E-06	1,79E-05	2,14E-05
Organophosphorus-compounds	Lorsban 48 e	2,04E-04	1,72E-05	3,20E-04	3,84E-04
Pyretroid-compounds	Lorsban plus	0,00E+00	0,00E+00	1,67E-05	2,00E-05
Organophosphorus-compounds	Lorsban plus	0,00E+00	0,00E+00	1,67E-04	2,00E-04
Benzoic-compounds	Master	3,09E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cyclic N-compounds	Sencorex 48	0,00E+00	0,00E+00	2,51E-04	3,02E-04
Acetamide-anillide-compounds	Rastra	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-03	1,29E-03
Glyphosate	Round up max	3,08E-04	2,65E-04	0,00E+00	0,00E+00
Glyphosate	Round up	6,02E-04	3,44E-04	0,00E+00	0,00E+00
Glyphosate	Round up full	6,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2,4-D	2,4-D megan	1,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
[Sulfonyl]urea-compounds	Metsulfuron 60	1,35E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Benzimidazole-compounds	Pivot h	0,00E+00	4,19E-06	0,00E+00	0,00E+00

4.2.4.3. Semillas

La cantidad de semilla sembrada en cada sistema productivo y los datos para el inventario se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Cantidad de semilla sembrada y datos de inventario.

Entrada	Unidades	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
Semillas	Kg/ ha	75	70	80	70
Pea seed IP (Datos de inventario)	kg/ kg soja	2,49E-02	2,75E-02	3,81E-02	4,00E-02

Fuente: Elaboración propia a partir de Márgenes Agropecuarios, 2006 y SAGPyA, 2006.

4.2.5. Uso de maquinaria y energía

El uso de maquinaria se estimó a partir del consumo de combustible fósil en cada labor. En la Tabla 8 se presentan las distintas labores por hectárea y la distribución porcentual del consumo de diesel para cada proceso productivo. La unidad funcional es la hectárea por kg de soja. Para expresar los valores en términos de la unidad funcional se multiplicó por un factor de uso de combustible (Nemecek *et al.,* 2004). Dicho factor considera el impacto ambiental de la puesta a disposición de la maquinaria agrícola, considerando la vida útil de la misma, la fabricación de la maquinaria, el traslado de la misma al campo, y las emisiones y energía consumida derivadas de su uso. Se asume una densidad del diesel de 0,84 kg/lt.
Los datos para el inventario y el factor empleado en cada labor se presentan en la Tabla 9.

Tabla 8. Distribución del consumo de diesel por labores.

Labores	Labores/ha				% diesel			
	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
Siembra directa	1		1		19,70	0,00	30,00	0,00
Pulverización terrestre	6	3	3	3	38,00	7,50	40,00	20,00
Disco doble		2		2	0,00	20,00	0,00	20,00
Vibrocultivador + rastra de dientes		1		1	0,00	5,00	0,00	10,00
Siembra convencional		1		1	0,00	10,00	0,00	15,00
Fertilización	1	1	1	1	4,00	4,00	9,40	9,40
Cincel		1		1	0,00	7,20	0,00	5,00
Cosecha	1	1	1	1	38,31	46,34	20,61	20,61

Fuente: Elaboración propia a partir de Donato *et al*., 2005.

Tabla 9. Uso de maquinaria- datos de inventario.

Datos de inventario	Factor	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
	Kg/FU	Ha/ kg soja			
Sowing	3,82	4,00E-04	0,00E+00	7,20E-04	0,00E+00
Application of plant protection products, by field sprayer	1,76	7,72E-04	3,33E-04	9,60E-04	1,29E-03
Tillage, ploughing	26,11	0,00E+00	8,89E-04	0,00E+00	1,29E-03
Tillage, harrowing, by spring tine harrow	4,44	0,00E+00	2,22E-04	0,00E+00	6,47E-04
Sowing	3,82	0,00E+00	4,44E-04	0,00E+00	9,71E-04
Fertilising, by broadcaster	5,29	8,13E-05	1,78E-04	2,26E-04	6,09E-04
Tillage, cultivating, chiselling	15,52	0,00E+00	3,20E-04	0,00E+00	3,24E-04
Combine harvesting	33,31	7,78E-04	2,06E-03	4,95E-04	1,33E-03

4.2.6. Transporte

La unidad funcional para el transporte de insumos y productos es la tonelada kilómetro por kg de soja (tkm/ kg soja). Dichos valores se determinan a partir de las distancias promedio recorridas para abastecer al sistema de fertilizantes, pesticidas y semillas y para enviar el grano de soja hasta el acopiador.

En la Argentina, los fertilizantes fosforados se importan en su totalidad (EEUU, Rusia, Lituania, Marruecos y Túnez) y las mezclas de NPK son importadas de Brasil y Uruguay (SAGPyA, 2006b). Para el caso en estudio, se asume que los fertilizantes y pesticidas se importan por barco hasta el puerto de Rosario o son producidos a escala nacional. La distancia promedio al campo desde el stock regional es de 300 km en camión de 28 toneladas de capacidad hasta el área local y de 30 km en tractor o trailer hasta el predio agropecuario.

El límite del sistema llega hasta el stock regional. Las distancias de importación de insumos por barco no son contempladas.
Las distancias promedio y los datos de inventario se muestran en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Distancias y medios de transporte de insumos y productos.

Transporte de insumos y productos	Tractor y trailer	Camión 28t
	km	
Fertilizantes	30	300
Pesticidas	30	300
Semillas	30	300
Grano de soja (hasta acopiador)	30	0

Tabla 11. Transporte de insumos y productos- datos de inventario.

Datos de inventario	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
	tkm/ kg soja			
Transport, tractor and trailer	3,09E-02	3,08E-02	3,15E-02	3,17E-02
Transport, lorry 28t	9,37E-03	8,44E-03	1,53E-02	1,66E-02

4.2.7. Pérdida de carbono en suelos por deforestación.

El CO_2 emitido por deforestación se calculó a partir de estimaciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (2006). La emisión de CO_2 a la atmósfera debido a la pérdida de carbono en suelos por deforestación en el Bosque Chaqueño, la Selva Misionera y la Selva Tucumano-boliviano (zona de expansión de la frontera agrícola para el cultivo de soja) se estimó en 54,366 Gg CO_2 en 1997. Por otro lado en dichas zonas se deforestaron 787'889 ha entre 1998-2002, a un ritmo de 131'314 hectáreas por año.
La emisión de CO_2 por deforestación se asignó a la soja de primera en siembra directa ya que es la práctica más frecuente en la región contemplada. El valor de inventario es de 1,85E-01 Kg CO_2/ kg soja y se define como 'Carbon dioxide, land transformation, air, low population density'.

4.2.8. Emisiones de GEI al aire

Los gases de efecto invernadero de entrada son el CO_2 y el N_2O. Para el caso del CO_2, y para la fase agrícola, solo se consideran las emisiones provenientes de la deforestación y calculadas en el punto anterior. Se asume que el carbono absorbido de la atmósfera en el proceso de fotosíntesis es el mismo, en valor absoluto, que el carbono biogénico contenido en el grano de soja. Si bien estos valores no son nulos, no se calculan debido a que tienen factores de impacto contarios (1 y -1) por lo que el balance final es 0.
Para el caso del N_2O, la emisión se computa en el inventario como 'Dinitrogen monoxide, air, low population density'. Tal como se describió en la metodología, esta compuesto por una emisión directa, producto de la descomposición del N y una emisión indirecta, producto del uso de fertilizantes y de la fijación del N.
En la Tabla 12 se presentan los valores del inventario calculados a partir de la aplicación del factor de emisión a la entrada de N.

Tabla 12. Emisiones de gases GEI al aire- datos de inventario.

Datos de inventario	Emision factor	SP_SD	SP_SC	SS_SD	SS_SC
		Kg CO_2/ kg soja			
N_2O, Direct	1,25 *	1,40E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
N_2O, Indirect, fertilizers	2,5 *	8,43E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
N_2O, Indirect, N fixation	0,056 **	6,60E-04	6,60E-04	6,60E-04	6,60E-04
N_2O, Total		6,82E-04	6,60E-04	6,60E-04	6,60E-04
Carbon dioxide, land transformation		1,85E-01			

* Ecoinvent, 2006b.
** Frank, 2006.

En el Anexo se presentan las hojas del inventario para cada sistema productivo, con las entradas, las unidades, los valores y los factores de impacto para los dos indicadores definidos en este estudio.

4.3. Extracción por solvente y refinación

4.3.1. Introducción

Argentina es el tercer productor mundial y mayor exportador mundial de aceite de soja. El complejo sojero, integrado por porotos, aceites y harinas, constituye la principal fuente de divisas para el país. La producción y la exportación de aceite de soja fueron de 5,40 millones de toneladas y 4,83 millones de toneladas en el 2005, respectivamente (Figuras 10 y 11).

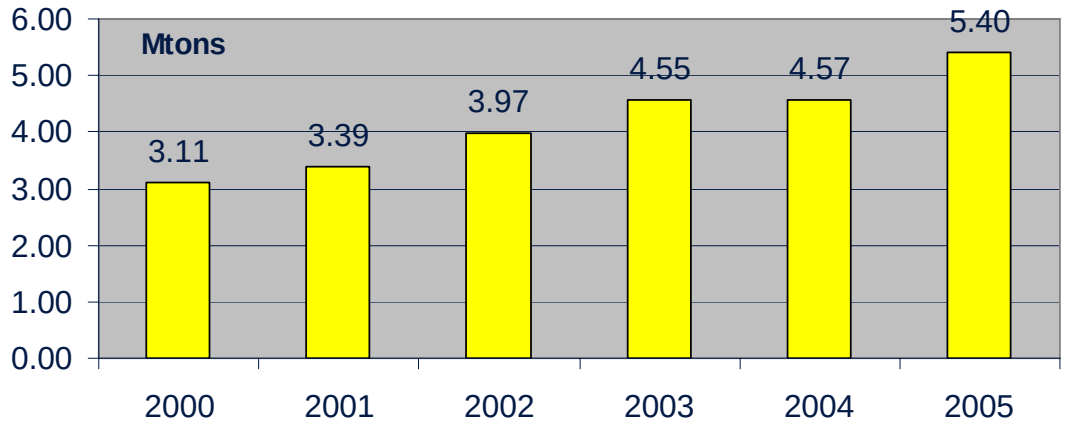


Figura 10. Producción nacional de aceite de soja (2000-2005). Fuente: Franco, 2005a.

Las exportaciones de aceite de soja, en su mayoría crudo desgomado, llegan a más de 70 países. Los países asiáticos concentran la mayor demanda. China (36 %), India (21 %) y Bangla Desh (5 %) representan los principales destinos (Franco, 2005a).

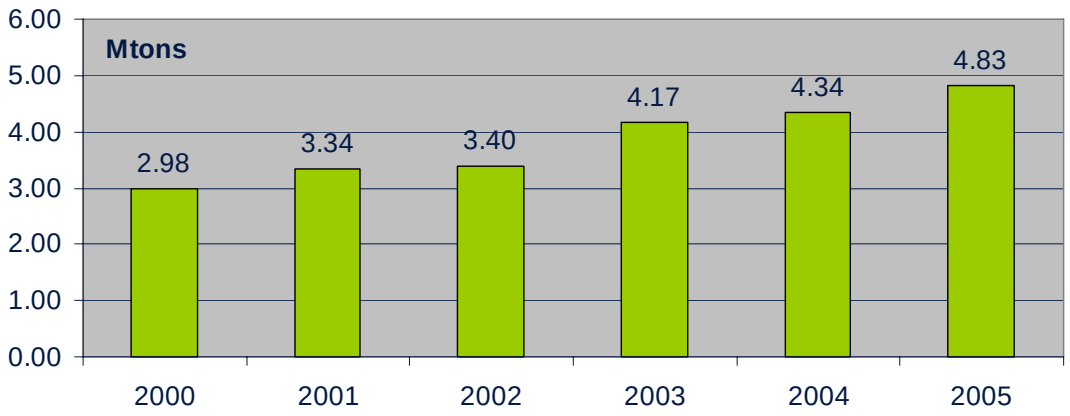


Figura 11. Exportación de aceite de soja (2000-2005). Fuente: INDEC, 2006.

La soja, junto con el girasol, absorbe el 99% de la molienda anual promedio de oleaginosas. Esta fuerte concentración en el tipo de grano molturado se traduce en un proceso de constante incremento de la superficie destinada al cultivo de soja, que fue acompañada por la reducción de otros cultivos, entre los que se incluyen el lino oleaginoso y el maní industrial (Ciani y Esposito, 2005).
Durante el año 2004 funcionaron en el sector aceitero 47 plantas con una capacidad de molienda diaria de 97'741 toneladas (Tabla 13). Dado que la actividad industrial oleaginosa se ubica cerca de las materias primas (cultivo de soja) similarmente, la producción de aceite se concentra en las provincias de Santa Fe (72,26%), Buenos Aires (15,02%) y Córdoba (10,97%) (Figura 12).

Tabla 13. Capacidad instalada de molienda.

Provincia	Cantidad de plantas	Capacidad por 24 hs (tons)
Buenos Aires	14	14'680
Santa Fe	19	70'721
Córdoba	5	10'720
Entre Ríos	4	895
Otros	5	725
TOTAL	47	97'741

Fuente: Ciani y Esposito, 2005.

La tecnología empleada en la producción de aceite a gran escala es la extracción por solvente. Antiguamente se utilizaba la prensa continua.
La industria aceitera en Argentina es un sector agroexportador, por lo cual la localización de las fábricas se orienta hacia zonas cercanas a los puertos de embarque (Ciani y Esposito, 2005). En los puertos de San Lorenzo, San Martín y Rosario se embarca el 97% del aceite de soja que se destina al mercado externo, además del 75% de los granos de soja y 97% de los pellets de soja (Franco, 2005b).
Casi la totalidad de la actividad industrial se localiza en la provincia de Santa Fe, en las zonas aledañas al río Paraná. Las plantas procesadoras se aprovisionan de soja en un radio de menos de 300 km. El transporte de granos se realiza en un 80% en camión. Un pequeño porcentaje se transporta por ferrocarril. Algunos de los grupos concesionarios de vías férreas están constituidos por empresas del sector aceitero,

de modo que éstas transportan la materia prima hasta sus plantas y la producción obtenida a los puertos.

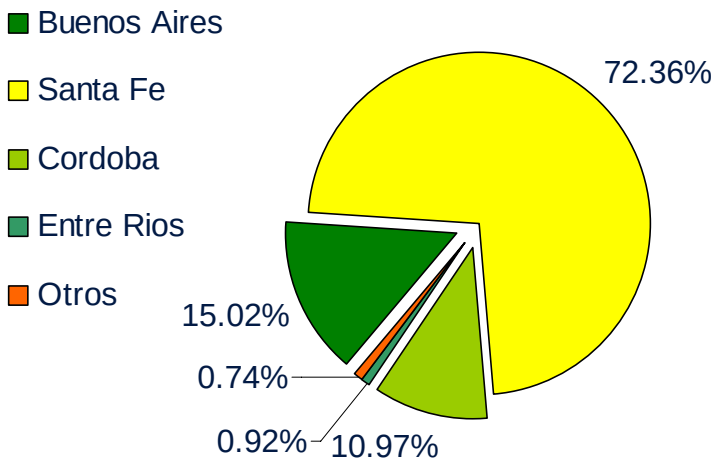


Figura 12. Distribución de la molturación por provincia. Fuente: Ciani y Esposito, 2005.

La mayor parte de las plantas aceiteras procesan soja y también pueden industrializar girasol y maní debido a la similitud del proceso.
En la zona de Rosario, se encuentran instaladas 12 plantas aceiteras con una capacidad de molturación de 57 mil toneladas por día, con un promedio por planta de 4,8 mil toneladas cada 24 horas. Esta capacidad de procesamiento es la más elevada a nivel mundial para la producción de aceite.
El pellet de soja es el principal subproducto de la industrialización del aceite y se emplea esencialmente en la producción de alimentos balanceados para la ganadería. Se destinan, casi en su totalidad, a mercados de exportación (principalmente a la Unión Europea).
Las principales empresas exportadoras son Cargill, Bunge Argentina, Dreyfus, AGD, Vicentín y Pecom. Estas seis firmas representan más del 87% del total exportado.
Los puertos de mayores embarques son San Lorenzo, San Martín y Rosario sobre el río Paraná en la provincia de Santa Fe. Las principales empresas aceiteras se localizan a la vera de este río (Franco, 2004).

4.3.2. Caracterización del sistema

Esta sección (4.3) corresponde a la caracterización de la fase de extracción y refinación para la producción de aceite de soja. La base de datos desarrollada corresponde a la producción de 1 kg de aceite de soja en la industria aceitera (molino)

La unidad funcional para esta sección es el kg de aceite de soja (materia fresca). Las propiedades del aceite de soja se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Propiedades del aceite de soja.

Parámetro	Unidades	Valor
Unidad básica en Inventario		**kg**
Poder calorífico inferior (Hu)	MJ	32,2
Poder calorífico superior (HHV)	MJ	40,5
Densidad 20°C	Kg/ lt	0,922
Oxígeno	Kg	0,115
Carbono, fósil	Kg	0,00
Carbono, biogénico	Kg	0,768
Hidrógeno	Kg	0,117
Factor CO_2	Kg/ MJ	0,0757
Factor CO_2	Kg	2,8158
Fórmula		$C_{53}H_{98}O_6$
CAS		8001-22-7

Fuente: Ecoinvent 2006a.

El esquema general de la producción de aceite de soja se presenta en la Figura 13.
El proceso de producción de aceite por extracción con solvente se encuentra estandarizado a nivel internacional.
El grano de soja llega a la instalación aceitera mediante camiones o por vía férrea, donde se recibe, limpia, seca y acondiciona. La humedad de entrada a la molienda debe ser de entre 10% y 10,5%. Las impurezas se limpian mediante zaranda y aspiración, para proceder luego a la trituración y el descascarado. Las cáscaras son incorporadas luego a la harina y al pellet de soja.
La rotura del grano se realiza por medio de un sistema mecánico, siendo el objetivo obtener partículas de hasta un octavo del tamaño original del grano. Previo al laminado los grano son acondicionados por calor indirecto para hacerlos más plásticos. Luego el laminado se realiza por medio de rodillos que aplastan los fragmentos quebrados, formando láminas (flakes), que aumentan la superficie de contacto con el solvente. Por medio del agregado de vapor las laminas se expanden generando poros (AACREA, 2006).
Luego, la pasta ingresa a los extractores donde se pone en contacto con el solvente (generalmente hexano). La mezcla resultante (micela) se envía a un equipo de destilación donde, mediante vacío y temperatura, se destila el solvente que se condensa para ser reusado. El aceite crudo obtenido se envía a los tanques de almacenamiento.
El residuo sólido resultante (torta) contiene 1% de aceite y es sometido a un proceso de desolventación y tostado para obtener harina de soja que puede ser compactada en pequeños cilindros formando pellets destinados a la alimentación animal (AACREA, 2006). El secado del pellet se realiza mediante inyección indirecta de vapor hasta reducir el contenido de humedad a 12% y el contenido de hexano hasta 400 ppm (partes por millón) (Ecoinvent, 2006a).
El aceite crudo, luego sigue un proceso de refinado (filtrado) para eliminar sólidos insolubles. Los sólidos insolubles son eliminados a través de una serie de procesos que eliminan fosfatos (desgomado), ácidos grasos libres, colorantes, materiales insolubles, goma residual (neutralización, secado, desodorización) y colores e impurezas (decoloración y enfriado con carbón activado) para obtener finalmente el aceite refinado de soja.

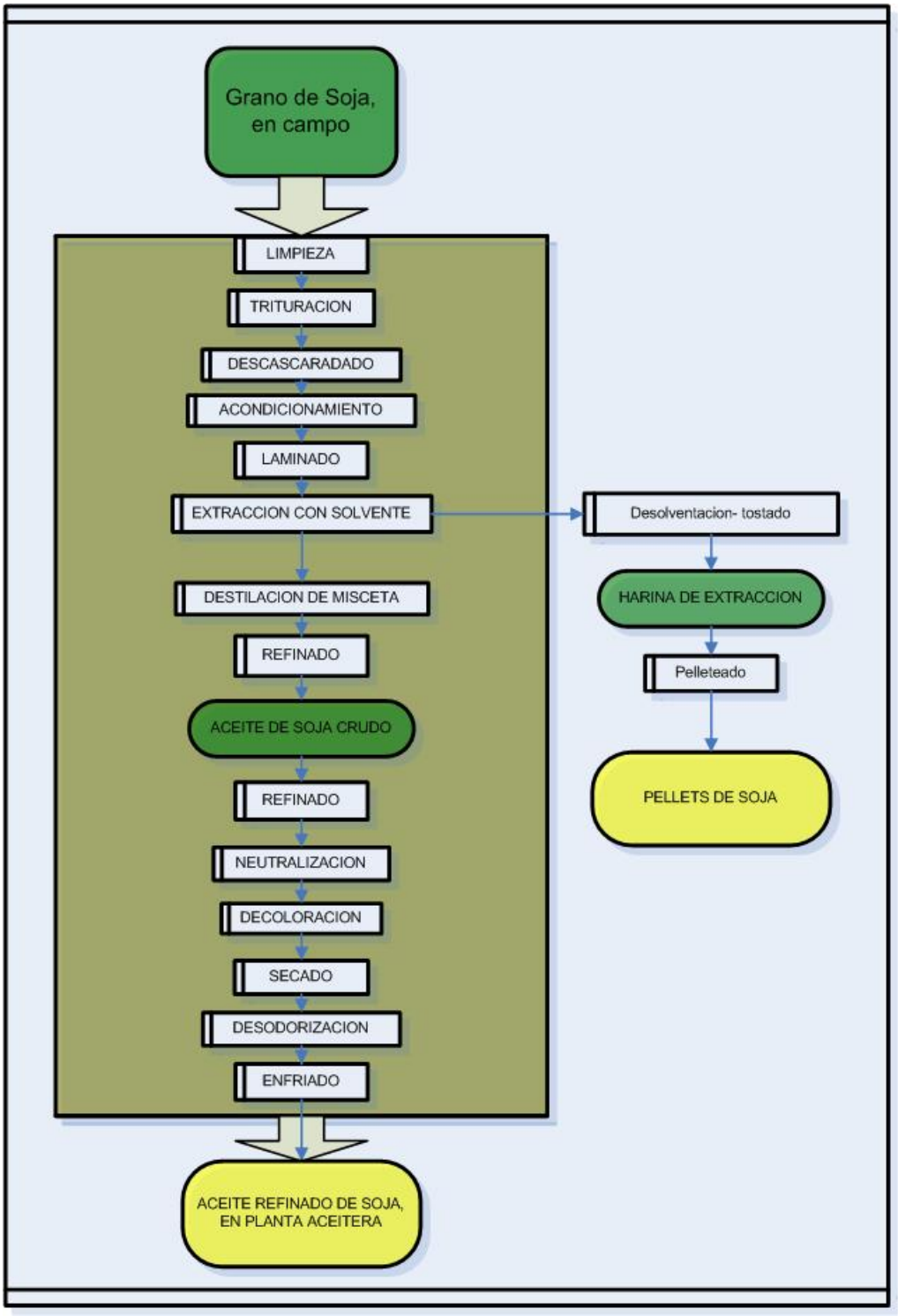


Figura 13. Diagrama de proceso industrial de la producción de aceite. Fuente: SAGPyA, 2006c.

Las entradas del proceso unitario (Figura 14) incluyen el grano de soja, gas natural, electricidad, sistemas de transporte, vapor, hexano, bentonita, y ácido fosfórico. El producto final es el aceite refinado de soja y se contemplan las emisiones al aire de GEI, la emisión de calor y de hexano como salidas del sistema. Se analiza la torta (pellets) como co-producto del sistema.

Solo se consideran aquellas entradas y salidas relevantes a las categorías de impacto evaluadas.

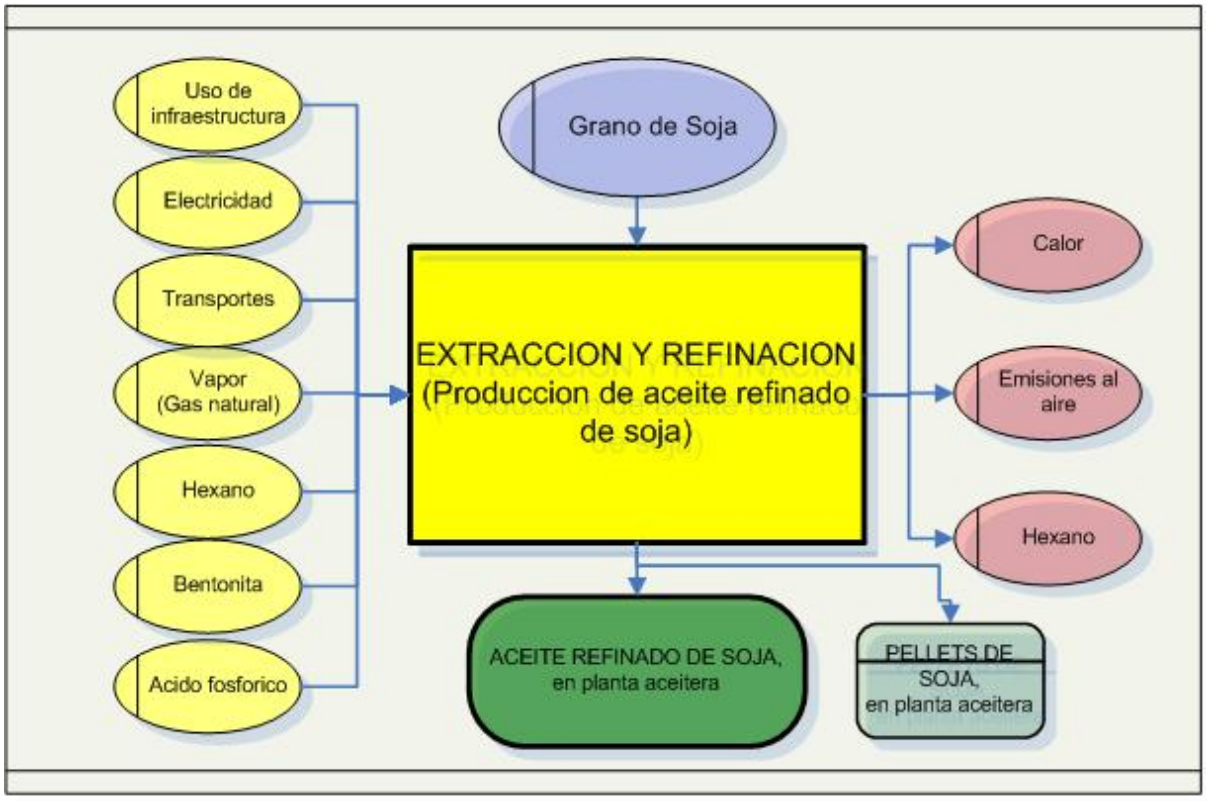


Figura 14. Diagrama de flujo de la fase de extracción y refinación de aceite.

El sistema productivo evaluado es:

⇒ Extracción por solvente y refinación de aceite de soja

4.3.3. Consideración de calidad de datos

Los datos fueron obtenidos de Ecoinvent (2006a) y generados para el caso de Estados Unidos y Brasil. Salvo indicación contraria, esta es la fuente bibliográfica de los datos presentados en esta sección.
En aquellos casos donde existe información especifica para el caso Argentino, los valores fueron reemplazados por los datos locales.
Los datos se expresan en tonelada de soja al 11% de humedad, si bien los granos son secados para su utilización en la industria aceitera.

4.3.4. Rendimientos

La composición promedio del grano de soja se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Composición promedio del grano de soja

Componente	Peso húmedo (%)	Peso seco (%)	Energía
Agua	11	-	-
Cáscaras	7,8	8,8	7,1
Aceite	19,5	21,9	35,4
Torta	60,8	68,3	57,3
Otros sólidos	0,8	1	0,1
Total	100	100	100
Contenido energético		23 MJ/ kg	

Fuente: Ecoinvent, 2006a.

Se acuerdo con la composición del grano de soja presentado en la Tabla 15, a partir de 1 tonelada de soja se obtienen:

⇒ 188,1 kg de aceite de soja
⇒ 794,0 kg de pellet de soja (incluidas las cáscaras)

Se asume una eficiencia de proceso de 97% para el proceso de extracción por solventes.

4.3.5. Asignación entre co-productos

La asignación de valores entre co-productos (aceite y torta) para el proceso de extracción y refinación de aceite se basa en los precios de mercado del destino final de los productos. Para el caso del aceite de soja se asume un precio de 521 US$/ ton según el promedio Enero 2001 – Septiembre 2006 de los precios de mercado de Rótterdam. El precio promedio de mercado de la torta, en forma de pellets, corresponde también al mercado de Rótterdam y es de 201 US$/ ton (SAGPyA, 2006d).
Para la asignación de valores en función del contenido energético y el poder calorífico del aceite y el pellet de soja se tomó un valor de 37,2 y 17 MJ/ kg, respectivamente.
La asignación resultante se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Asignación de valores entre co-productos.

Producto	Valor económico	Valor energético	Masa	Contenido de carbono
Aceite de soja	37,9%	34,5%	19,4%	29,3%
Pellets de soja	62,1%	65,5%	80,6%	70,7%

4.3.6. Uso de energía

El consumo energético en la producción de aceite se divide en utilización de vapor (bajo la forma de gas natural) y electricidad.

El factor de impacto del consumo de energía eléctrica depende del mix energético para la producción de electricidad del país. Se utilizó el factor para el caso Portugal de Ecoinvent, el cual presenta el mix energético más próximo al caso argentino de los contenidos en Ecoinvent (Tabla 17).

Tabla 17. Mix de generación eléctrica.

Fuente	Generación eléctrica		Mix eléctrico Portugal
	MW	%	%
Hidroeléctrica	9'762	38,27	24,14
Ciclo combinado	7'038	27,59	23,56
Turbina Vapor	4'603	18,05	39,46
Turbina Gas	2'653	10,40	2,49
Nuclear	1'018	3,99	0,00
Diesel	407	1,60	6,90
Eólico	24,8	0,10	3,45
Geotérmica	0,6	0,00	0,00
Solar	0,03	0,00	0,00
TOTAL	25'506,43	100,00	100,00

Fuente: Secretaría de Energía, 2006.

La demanda de energía eléctrica y el gas entregado al sector de Aceites y Molinos en Santa Fe y Córdoba en 2004 se presentan en IDIED (2004).
El consumo energético de las plantas aceiteras de otras provincias se asumió como igual al de Córdoba (Tabla 18).

Tabla 18. Consumo de energía en el sector aceitero.

Uso de energía	Electricidad	Gas Natural	Molturación	Electricidad	Gas Natural
	Gwh	m3 9300 kcal	%	kWh/kg soybean	MJ/kg soybean
Santa Fe	48,8	205,6	83,43	7,24E-03	3,96E-01
Córdoba	8,5	25,3	16,57	1,08E-02	4,17E-01
Total				7,83E-03	4,00E-01

Fuente: IDIED, 2004.

Las entradas de electricidad y gas natural se computan en el inventario como 'electricity, medium voltage, production PT, at grid' y 'natural gas, burned in industrial furnace >100kW' respectivamente. Los valores de inventario, asignados para el aceite de soja, se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Consumo de energía- datos de inventario.

Datos de inventario	Unidades	Valores
electricity, medium voltage, production PT, at grid	kWh/ kg aceite	1,63E-02
natural gas, burned in industrial furnace >100kW	MJ/ kg aceite	8,31E-01

4.3.7. Materias primas e insumos

4.3.7.1. Grano de soja

El grano de soja es la principal materia prima necesaria para el proceso de extracción y refinación de aceite de soja. El factor de impacto resulta del análisis de impacto de la fase agrícola. Se obtuvo un valor promedio en función de la contribución de cada sistema a la producción de soja. La entrada de grano de soja se computa en el inventario como 'soybeans, at farm (average)' y tiene un valor de 2,08E+00 kg/ kg aceite.

4.3.7.2. Hexano

El consumo de hexano en el proceso es de 2,140 kg / ton soja, se computa como 'hexane, at plant' y tiene un valor de inventario, asignado al aceite de soja, de 4,45E-03.
La adición de solvente se asume en 1,2 kg por cada kg de granos laminados (1 kg de solvente / kg soja). El agregado final de solvente resulta en 0,0024 kg/ kg de granos laminados (0,002 kg/ kg de soja) debido a la recuperación de solvente por destilación.

4.3.7.3. Agua

El consumo de agua en la instalación es de 85,8 kg/ ton soja. La generación de efluentes es de 89,8 kg/ ton soja y se asume que son tratados en una planta de tratamiento local. El venteo de vapor de agua a la atmósfera (13,9 kg/ ton soja) no se incluye en el inventario.
Los valores de inventario, asignados al aceite de soja se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Consumo de agua- datos de inventario.

Datos de inventario	Unidades	Valores
tap water, at user	kg/ kg aceite	1,78E-01
treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	m3/ kg aceite	1,87E-04

4.3.7.4. Ácido fosfórico

El ácido fosfórico necesario por tonelada de soja es de 0,169 kg. El uso de este insumo se computa en el inventario como 'phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant' y tiene un valor de inventario de 3,40E-04 kg/ kg aceite.

4.3.8. Transporte

Los insumos del proceso son transportados en camión de 28 tons de capacidad. La distancia de transporte se asume en 150 km desde el proveedor a la planta aceitera.
El grano de soja es trasladado desde el acopiador a la planta aceitera. Se asume una distancia de transporte de 240 km, en camiones de 28 tons y de 60 kilómetros en tren. Este supuesto se basa en que las aceiteras se proveen de grano de soja en un radio de 300 km y el 80% del transporte se realiza en camión (20% en tren).

Los datos de inventario, los medios de transporte por insumo/producto, y las distancias recorridas se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Distancias de transporte de insumos y productos- datos de inventario.

Insumo/Producto	Transporte	Distancia	Dato de inventario
		km	tkm/ kg aceite
Ácido fosfórico	transport, lorry 28t	150	
Hexano	transport, lorry 28t	150	5,00E-01
Grano de soja	transport, lorry 28t	240	
Grano de soja	transport, freight, rail	60	1,25E-01

4.3.9. Uso de infraestructura

El uso de infraestructura (molino aceitero) se computa en el inventario como 'oil mill' y tiene un valor de inventario asignado al aceite de 3,45E-10 unidades/ kg aceite.
El valor corresponde a un molino con una capacidad de 22'000 tons/ años de aceite y un tiempo de vida útil de 50 años.

En el Anexo se presentan las hojas del inventario para el proceso de extracción y refinación de aceite de soja, con las entradas, las unidades, los valores y los factores de impacto para los dos indicadores definidos en este estudio.

4.4. Transesterificación

4.4.1. Introducción

La Unión Europea, al igual que la Argentina y el Brasil, ha fijado límites de corte (blending) del diesel con distintas fracciones de biodiesel.
Según la directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo (PE, 2003), la Unión Europea (UE) obliga al corte obligatorio de combustibles fósiles para el transporte con combustibles renovables. La meta para el 2005 determinó que cada litro de diesel convencional debía contener 2 % de biodiesel, y ese porcentaje deberá crecer hasta 5,75% en 2010.
El objetivo de 2005, consistente en una cuota del 2% de biocombustibles, no se alcanzó, siendo la cuota alcanzada de 1,4%. En consecuencia, la Comisión está buscando el desarrollo adecuado de la producción interna en la UE y un aumento de las oportunidades de importación de los biocombustibles y sus materias primas, así como el aumento de su viabilidad económica (Comisión de las Comunidades Europeas, 2006).
En 2005 se produjeron en la UE un total de 3,9 millones de toneladas de biocombustible, de los cuales 81,5% (3,18 millones de toneladas) corresponden al biodiesel y el porcentaje restante a la producción de bioetanol. Alemania es el principal productor y consumidor de biodiesel en la UE (EurObserv'ER, 2005).

En función de la tendencia actual de producción de biocombustibles en la UE, se estima que el objetivo de 5,75% de corte del combustible fósil para el transporte con biocombustibles no va a ser alcanzado. Para el año 2010 se deberían producir 18 millones de toneladas de biocombustibles para cumplir con los objetivos del Libro Blanco. Se estima que la producción para el 2010 será de 9,4 millones de toneladas (Figura 15).

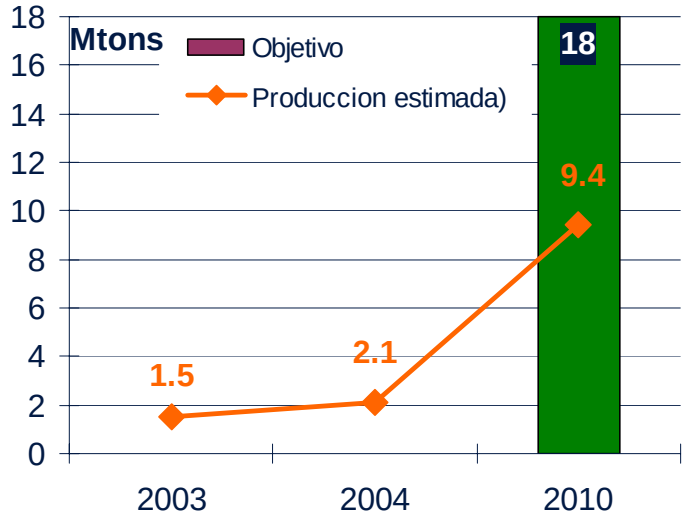


Figura 15. Comparación entre la tendencia actual y los objetivos de la UE para la producción de biocombustibles. Fuente: EurObserv'ER, 2005.

Se estima que la UE tendrá un déficit muy elevado y generará un importante mercado. De allí el interés de las petroleras y las aceiteras en producir biodiesel a gran escala (Falasca *et al.*, 2005).
En la Unión Europea se subsidia la producción y se establece un uso obligatorio de B100 para todos los motores diesel de embarcaciones. En ciertos países se impone un corte de un 10% de biodiesel y 90% de diesel (B10) o de 20% de biodiesel y 80% de diesel (B20) para un uso general en transportes (FAUBA, 2003).
El costo promedio de producir un litro de biodiesel en Europa es de € 0,62, mientras que en Argentina ese costo oscila entre € 0,54 y € 0,59, con el flete a la UE incluido. Esto supone ventajas competitivas para su exportación (El Santafesino, 2006).
En la actualidad, la producción de biodiesel en Argentina se encuentra limitada a la producción en pequeña escala y con un mercado marginal, todavía no desarrollado (SAGPyA-IICA, 2005, Asal y Marcus, 2005b). Con respecto a la exportación, existe un único caso de exportación argentina a la Unión Europea (Alemania) por un volumen de 12'000 toneladas anuales de biodiesel (Clarín, 2006).

El principal destino de los nuevos proyectos es el sector externo en función de la creciente demanda de combustibles renovables en Europa y Estados Unidos (El Santafesino, 2006).
Luego de la promulgación de la Ley de Biocombustibles en Argentina, las empresas cerealeras y petroleras han habilitado plantas para producir biodiesel a base de soja para la exportación. Se estima que en los próximos 4 años se estarían exportando 2 millones de toneladas de biodiesel de soja. Existen diversos proyectos oficialmente anunciados (Tabla 22) que entraran en producción en el corto plazo (Leone, 2006).

Tabla 22. Proyectos anunciados de producción de biodiesel de soja para exportación.

Empresa	Ubicación	Capacidad (miles de tons B100 $_{soja}$)
Repsol-YPF	San Lorenzo, Santa Fe	100
Vicentín	San Lorenzo, Santa Fe	200
Terminal Puerto Rosario	Rosario, Santa Fe	200
Aceitera General Deheza	Puerto Gral. San Martín, Santa Fe	250
Entaban-Nmas 1		60
TOTAL		810

Fuente: Leone, 2006.

4.4.2. Caracterización del sistema

Esta sección (4.4) corresponde a la caracterización de la fase de transesterificación para la producción de biodiesel puro. La base de datos desarrollada corresponde a la producción de 1 kg de metil-ester de soja en la planta de biodiesel.
La unidad funcional para esta sección es el kg de metil-ester de soja (materia fresca). Las propiedades del metil-ester de soja se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Propiedades del metil-ester de soja.

Parámetro	Unidades	Valor
Unidad básica en Inventario		**kg**
Poder calorífico inferior (Hu)	MJ	32,2
Poder calorífico superior (HHV)	MJ	40,5
Densidad 20°C	kg/ lt	0,870
Oxígeno	kg	0,110
Carbono, fósil	kg	0,041
Carbono, biogénico	kg	0,731
Hidrógeno	kg	0,119
Factor CO_2	kg/ MJ	0,0761
Factor CO_2	kg	2,8298
Formula		$C_{19}H_{35}O_2$
CAS		

Fuente: Ecoinvent 2006a.

El principal co-producto de la producción de metil-ester es la glicerina (CAS No. 0056-81, fórmula $C_3H_8O_3$). El poder calorífico inferior de la glicerina es de 18,0 MJ/ kg y tiene una densidad a 20°C de 1,261 kg/ lt.

El esquema general de la producción de metil-ester de soja se presenta en la Figura 16. Las entradas del proceso unitario incluyen el aceite refinado de soja, vapor de agua (en forma de entrada de gas natural), electricidad, sistemas de transporte, ácido fosfórico, hidróxido de sodio, uso de infraestructura y metanol. El producto final es el metil-ester de soja y se contemplan además las emisiones al aire de GEI, la

emisión de calor y de fosfato de potasio (sales) como salidas del sistema. Se analiza la glicerina como co-producto del proceso.
Solo se consideran aquellas entradas y salidas relevantes a las categorías de impacto evaluadas.

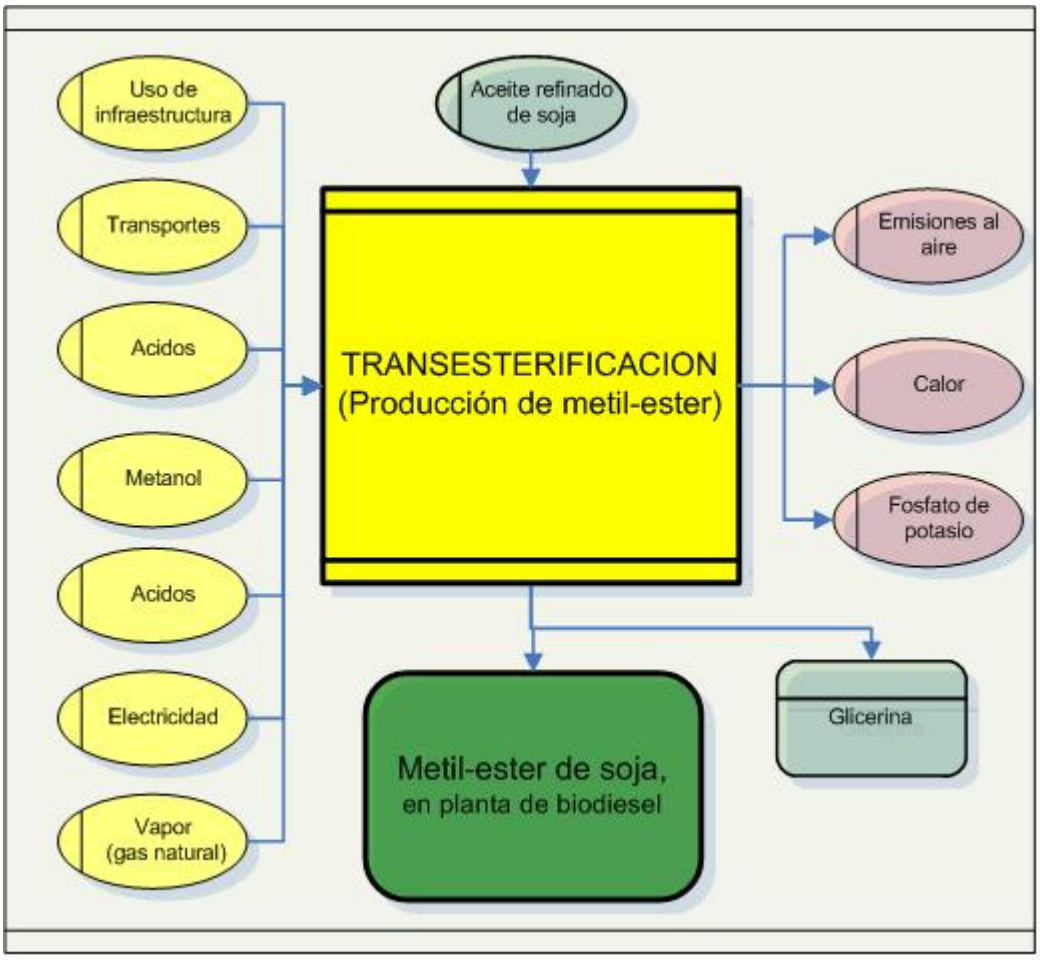


Figura 16. Diagrama de flujo de la fase de transesterificación de aceite.

Se asume que el método utilizado para la producción de biodiesel es la transesterificación del aceite refinado de soja por catalizador básico. En este proceso, las cadenas largas de moléculas de triglicéridos que forman el aceite son alteradas para formar cadenas más chicas de moléculas de metil-ester. Este proceso remueve completamente los glicéridos (moléculas de glicerol) y permite bajar la viscosidad y el punto de ebullición del aceite. El metil-ester resultante posee una estructura similar al diesel convencional.
En la transesterificación por catálisis básica el aceite (principalmente triglicéridos formados por tres cadenas largas de ácidos grasos ligados a un molécula de glicerol) reaccionan con un alcohol (generalmente metanol por ser de bajo costo y fácil accesibilidad) en presencia de un catalizador básico (generalmente hidróxido de sodio o potasio, previamente mezclado con el alcohol) para producir glicerol (glicerina) y metil-esteres (biodiesel).
La mezcla se mantiene justo por debajo del punto de ebullición del alcohol para acelerar la reacción. El alcohol es normalmente agregado en exceso para asegurar la conversión completa del aceite en metil-ester. Luego de la separación del

biodiesel y la glicerina, el alcohol es reciclado por evaporación o destilación (Ecoinvent, 2006a).

El sistema productivo evaluado es:

⇒ Transesterificación de aceite refinado de soja

4.4.3. Consideración de calidad de datos

Actualmente no existe producción comercial de biodiesel a gran escala en Argentina. Los datos fueron obtenidos de Ecoinvent (2006a) y generados para el caso de Estados Unidos, la Unión Europea y Brasil. Salvo indicación contraria, esta es la fuente bibliografía de los datos presentados en esta sección.
Para el caso de la matíz energética nacional y las distancias de transporte de insumos y productos donde existe información específica para el caso Argentino, dichos valores fueron reemplazados por los datos originales de Ecoinvent.
Los datos, salvo indicación contraria, se expresan en toneladas de aceite.

4.4.4. Rendimientos

El rendimiento de conversión de aceite de soja en metil-ester es de 97,3%. De acuerdo con esto, a partir de 1 tonelada de aceite refinado de soja se obtienen:

⇒ 972,7 kg de metil-ester de soja
⇒ 106,1 kg de glicerina

4.4.5. Asignación entre co-productos

La asignación de valores entre co-productos (metil-ester y glicerina) para el proceso de transesterificación de aceite se basa en los precios de mercado del destino final de los productos. El metil-ester de soja tiene un destino de exportación y la asignación se basa en precios internacionales. Por otro lado, se asume que la glicerina se comercializa localmente, y se asumen precios del mercado nacional. Para el caso del metil-ester de soja se asume un precio de 833 US$/ ton (precio de mercado de Estados Unidos). El precio promedio de mercado de la glicerina, en Argentina, es de 100 US$/ ton (Asal y Marcus, 2005b).
Si bien el fosfato de potasio generado (16,4 kg/ ton de aceite) es una sal que puede ser reciclada y comercializada, se asume que actualmente no tiene valor comercial. En consecuencia no interviene en la asignación de valores entre co-productos.
La asignación resultante se muestra en la Tabla 24.
Para la asignación de valores en función del contenido energético se asume un poder calorífico del metil-ester de soja y de la glicerina de 40,5 y 18 MJ/ kg, respectivamente.

Tabla 24. Asignación de valores entre co-productos.

Producto	Valor económico	Valor energético	Masa	Contenido de carbono
Metil-ester de soja	99,0%	95,0%	90,2%	94,5%
Glicerina	1,0%	5,0%	9,8%	5,5%

4.4.6. Uso de energía

Al igual que en la fase de extracción y refinación de aceite, el consumo energético en la fase de transesterificación se divide en consumo de electricidad y gas natural. El factor de impacto para el uso de electricidad es el mismo que para la fase de producción de aceite. Los datos de consumo tanto de electricidad como de gas natural son tomados del caso de producción en la Unión Europea.
El consumo de electricidad por tonelada de aceite es de 41,1 kWh. El consumo de vapor generado por combustión de gas natural es de 899 MJ.
Los datos de inventario, asignado al metil-ester, de la entrada de electricidad y de gas natural para la generación de vapor se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Consumo de energía- datos de inventario.

Datos de inventario	Unidades	Valores
electricity, medium voltage, production PT, at grid	kWh/ kg metil-ester	4,175E-02
heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW	MJ/ kg metil-ester	1,158E-01
heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW	MJ/ kg metil-ester	4,924E-02
heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	MJ/ kg metil-ester	7,468E-01

Fuente: Ecoinvent, 2006a.

4.4.7. Materias primas e insumos

4.4.7.1. Aceite de soja

El aceite de soja es la principal materia prima necesaria para la fase de transesterificación. El factor de impacto resulta del análisis de impacto de la fase de extracción y refinación de aceite. La entrada de aceite de soja se computa en el inventario como ‘soybeans oil, at oil mill, export’ y tiene un valor, asignado al metil-ester, de 1,015E+00 kg/ kg metil-ester.

4.4.7.2. Metanol, hidróxido de potasio, ácido fosfórico y agua.

El consumo de metanol, hidróxido de potasio, ácido fosfórico y agua en el proceso es de 110,5, 11,0, 4,5, y 26,6 kg por tonelada de aceite respectivamente. La generación de efluentes por la producción de metil-ester y glicerina es de 0,0061 m^3.
Los datos de inventario, asignados al metil-ester, se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Consumo de insumos- datos de inventario.

Datos de inventario	Unidades	Valores
methanol, at plant	kg/ kg metil-ester	1,121E-01
tap water, at user	kg/ kg metil-ester	2,697E-02
hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	kg/ kg metil-ester	4,543E-03
phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant	kg/ kg metil-ester	1,121E-02
treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	m^3/ kg metil-ester	6,172E-05

Fuente: Ecoinvent, 2006a.

4.4.8. Transporte

Los insumos del proceso son transportados en camión de 28 tons de capacidad. La distancia de transporte se asume en 250 km desde el proveedor a la industria aceitera. Los insumos provienen de laboratorios e industrias químicas en Córdoba, Rosario o Buenos Aires.
Se asume que la planta aceitera y la planta de producción de biodiesel se encuentran en el mismo predio o polo industrial, por lo que no hay transporte de aceite entre una y otra instalación.
El valor de inventario asignado al metil-ester para el transporte de insumos se computa como 'transport, lorry 28t' y es de 3,197E-02 tkm/ kg metil-ester.

4.4.9. Uso de infraestructura

El uso de infraestructura (planta de biodiesel) se computa en el inventario como 'vegetable oil esterification plant' y tiene un valor de inventario asignado al metil-ester de 9,225E-10 unidades/ kg metil-ester.
El valor corresponde a un molino con una capacidad de alimentación de 22'000 tons/ años de aceite y un tiempo de vida útil de 50 años.

En el Anexo se presentan las hojas del inventario para el proceso de transesterificación de aceite de soja, con las entradas, las unidades, los valores y los factores de impacto para los dos indicadores definidos en este estudio.

4.5. Transporte y distribución

4.5.1. Introducción

La cercanía de las plantas aceiteras a las terminales portuarias exportadoras hace que el complejo aceitero de exportación tenga una alta eficiencia. El barco es el medio de transporte por excelencia en la exportación de granos y subproductos.

Aproximadamente el 90% de las exportaciones de granos, aceites y sub-productos se realizan por vía marítima (SAGPyA, 1999).
El 97% de las exportaciones de aceite se realizan por las terminales portuarias del Gran Rosario. Esto permite prever que las exportaciones de biodiesel se llevaran a cabo por la misma vía.
Las terminales de la zona de Rosario poseen elevadores de cintas de provisión múltiples con un ritmo de carga de entre 1'000 y 1'500 tons/hora, silos de almacenamiento con capacidades que superan las 250'000 tons y generalmente están provistas de equipos automáticos para pesar y despachar la carga.
Las exportaciones se realizan fundamentalmente en barcos Handy que, en el caso argentino, para la exportación up river cargan en nuestra zona alrededor de 20'000 tons aunque hay barcos que cargan 30'000 tons o algo más (LBOSA, 2006). Los buques Handysize tienen una capacidad de 10-35 tons (deadweight) y representan el 10% de los arribos de buques al puerto de Rosario (Gardel, 2006).
El puerto de Rótterdam posee una posición estratégica para el comercio exterior de la UE. Su zona de influencia se extiende a todo el continente europeo a través de la red fluvial del Rhin y del Ruhr llegando a todo el interior del continente.

4.5.2. Caracterización del sistema

Esta sección (4.5) corresponde a la caracterización de la fase de transporte y distribución del biodiesel puro, producido en Argentina, para su consumo en Suiza. Contempla la fase de exportación del producto desde el transporte del biodiesel hasta las terminales portuarias, el almacenamiento en puerto, el transporte inter-oceánico a la UE, el transporte interno en la UE, el almacenaje y la distribución del combustible a su usuario final en estaciones de servicio en Suiza.
La base de datos desarrollada corresponde al transporte, almacenaje y distribución de 1 kg de metil-ester de soja en la estación de servicio (destino final).
La unidad funcional para esta sección es el kg de metil-ester de soja.
Solo se consideran aquellas entradas y salidas relevantes a las categorías de impacto evaluadas.

El sistema productivo evaluado es:

- ⇒ Transporte y distribución de metil-ester desde planta de biodiesel en Argentina hasta estación de servicio en Suiza.

4.5.3. Consideración de calidad de datos

Los datos fueron obtenidos de Ecoinvent (2006a) y generados para el caso de importación de metil-ester de soja desde Brasil en Suiza. Salvo indicación contraria, esta es la fuente bibliografía de los datos presentados en esta sección.
Sin embargo, las distancias de transporte de insumos y productos en el ámbito nacional son específicas para el caso argentino. Los valores de distancias son valores promedio estimados.
El inventario del caso Brasil para transporte y distribución de biodiesel corresponde a la base de datos de Ecoinvent para la distribución de combustibles fósiles (dataset: 'petrol, unleaded, at regional storage'). Se consideran las operaciones de

almacenamiento y las estaciones de servicio. Las emisiones derivadas del tratamiento de efluentes están incluidas. Sin embargo, las emisiones del lavado de autos en las estaciones de servicio no se incluyen en el inventario.
Los datos, salvo indicación contraria, se expresan en kg de metil-ester.
El inventario de los sistemas de referencia para la fase distribución y transporte (salvo el caso de producción de metil-ester en Suiza) están referidos a la importación de metil-ester y su distribución en estaciones de servicio en Suiza. El límite del sistema para la producción en Suiza es el almacenaje local.

4.5.4. Transporte, almacenaje y distribución

Se asume que el metil-ester de soja se traslada en camiones de 28 tons hasta las centrales portuarias de Rosario. El recorrido en camión es de 100 km. Luego el biodiesel es embarcado en buques tanque para su transporte inter-oceánico hasta el puerto de Rótterdam. El recorrido inter-oceánico es de 12'091 km. El biodiesel es cargado en barcazas y transportado via fluvial una distancia de 840 km hasta la frontera suiza en Basel.
Finalmente, la distribución interna se realiza en camiones de 28 tons y en tren, siendo los recorridos de 150 y 100 km respectivamente.
Los datos de inventario para el transporte, el almacenamiento intermedio y la distribución final a estaciones de servicio (incluido el tratamiento de efluentes) se indican en la Tabla 27.

Tabla 27. Transporte y distribución de metil-ester de soja- datos de inventario.

Datos de Inventario	Unidades	Valores
soybean methy-ester, at esterification plant, export	kg/ kg metil-ester	1,000E+00
electricity, medium voltage, production PT, at grid	kWh/ kg metil-ester	6,700E-03
light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating	MJ/ kg metil-ester	6,210E-04
regional distribution, oil products	unit/ kg metil-ester	2,621E-10
transport, lorry 28t, CH	tkm/ kg metil-ester	1,501E-01
transport, lorry 28t, ARG	tkm/ kg metil-ester	1,000E-01
transport, barge tanker, EU	tkm/ kg metil-ester	8,404E-01
transport, transoceanic tanker	tkm/ kg metil-ester	1,209E+01
transport, freight, rail, EU	tkm/ kg metil-ester	1,001E-01
disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration	kg/ kg metil-ester	1,680E-04
disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	kg/ kg metil-ester	6,270E-06
treatment, rainwater mineral oil storage, to wastewater treatment, class 2	m3/ kg metil-ester	7,500E-05
treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	m3/ kg metil-ester	6,890E-07
tap water, at user	kg/ kg metil-ester	6,890E-04

Fuente: Ecoinvent, 2006a.

En el Anexo se presenta la hoja del inventario para el proceso de transporte y distribución de metil-ester (desde planta de biodiesel en Argentina hasta estación de servicio en Suiza) con las entradas, las unidades, los valores y los factores de impacto para los dos indicadores definidos en este estudio.

5. EVALUACION DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA DEL CASO EN ESTUDIO

5.1. Introducción

Tal cual definido en el alcance y meta del presente estudio (sección 3), las categorías de impacto evaluadas son:

⇒ Consumo de energía primaria no renovable

⇒ Potencial de emisión de gases de efecto invernadero

Las metodologías de impacto ambiental se encuentran descriptas en la sección 3.6 y son las siguientes:

⇒ Demanda Energética Acumulada (DEA)

⇒ IPCC 2001 (Cambio Climático)

5.2. Demanda Energética Acumulada (DEA)

Los resultados de la evaluación de impacto de ciclo de vida para el indicador 'consumo de energía primaria, no renovable' calculada a través de la demanda energética acumulada, se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28. Demanda energética acumulada por unidad de proceso (MJp/ kg).

System	Location	Units	DEA
soybeans, at farm #1: SP_SD	ARG	MJp/kg $_{soja}$	**3,141E+00**
soybeans, at farm #2: SP_SC	ARG	MJp/kg $_{soja}$	**7,893E+00**
soybeans, at farm #3: SS_SD	ARG	MJp/kg $_{soja}$	**2,957E+00**
soybeans, at farm #4: SS_SC	ARG	MJp/kg $_{soja}$	**8,388E+00**
soybeans, at farm (average)	ARG	MJp/kg $_{soja}$	**4,068E+00**
soybeans oil, at oil mill, export	ARG	MJp/kg $_{aceite}$	**1,183E+01**
soybean methy-ester, at esterification plant, export	ARG	MJp/kg $_{metil\text{-}ester}$	**1,815E+01**
soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH	CH	MJp/kg $_{metil\text{-}ester}$	**2,076E+01**

5.3. IPCC 2001 (GWP 100a, Cambio Climático)

Los resultados de la evaluación de impacto de ciclo de vida para el indicador 'potencial de emisión de gases de efecto invernadero' calculada a través del potencial de calentamiento global (horizonte temporal de 100 años) según el IPCC2001, se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Potencial de emisión de gases de efecto invernadero por unidad de proceso (MJp/ kg).

System	Location	Units	IPCC (GWP 100a)
soybeans, at farm #1: SP_SD	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{soja}$	**5,882E-01**
soybeans, at farm #2: SP_SC	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{soja}$	**7,075E-01**
soybeans, at farm #3: SS_SD	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{soja}$	**3,906E-01**
soybeans, at farm #4: SS_SC	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{soja}$	**7,358E-01**
soybeans, at farm (average)	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{soja}$	**5,533E-01**
soybeans oil, at oil mill, export	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{aceite}$	**1,339E+00**
soybean methy-ester, at esterification plant, export	ARG	Kg CO_2 eq./kg $_{metil-ester}$	**1,568E+00**
soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH	CH	Kg CO_2 eq./kg $_{metil-ester}$	**1,734E+00**

5.4. Comparación del sistema de estudio y los casos de referencia

La comparación de cada unidad de proceso del sistema en estudio con la correspondiente unidad de proceso de los sistemas de referencia se muestra en la Tabla 30.

En las Figuras 17, 18, 19 y 20 se presenta, para cada unidad de proceso e indicador ambiental, la desviación porcentual de los sistemas de referencia respecto del caso en estudio. En las figuras, los valores de cada unidad de proceso del caso en estudio son nulos y coinciden con el eje axial. Valores superiores al caso en estudio (aquellos por encima del eje axial) indican un mayor impacto ambiental (mayor consumo de energía primaria no renovable y mayores emisiones de gases de efecto invernadero, respectivamente). Por el contrario, valores inferiores al caso en estudio (aquellos por debajo del eje axial) indican un valor menor de impacto ambiental (menor consumo de energía primaria no renovable y menores emisiones de gases de efecto invernadero, respectivamente).

En la Figura 17 (fase agrícola) se comparan, además de los casos de referencia, los cuatro sistemas de producción evaluados respecto del sistema productivo promedio.

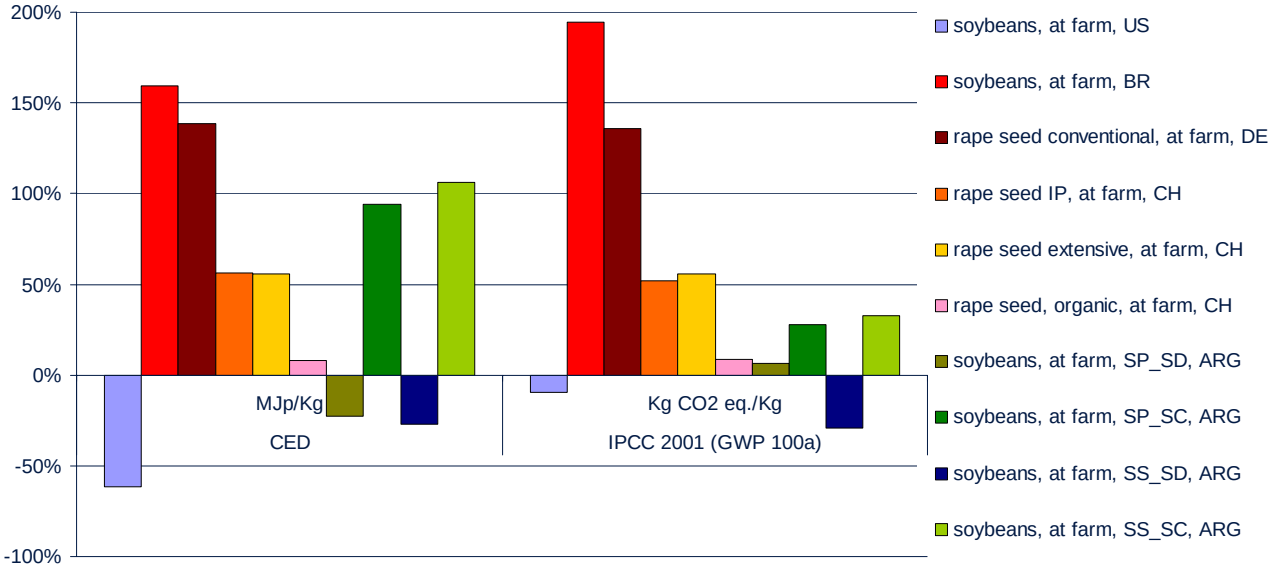


Figura 17. Desviación porcentual de los sistemas de referencia respecto al caso de estudio- Unidad de proceso: soybean, at farm (average).

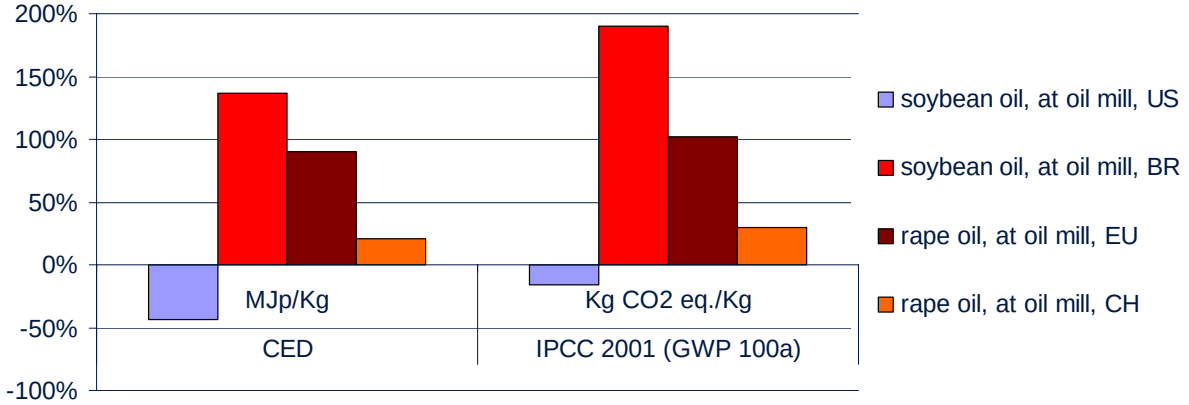


Figura 18. Desviación porcentual de los sistemas de referencia respecto al caso de estudio- Unidad de proceso: soybean oil, at oil mill, ARG.

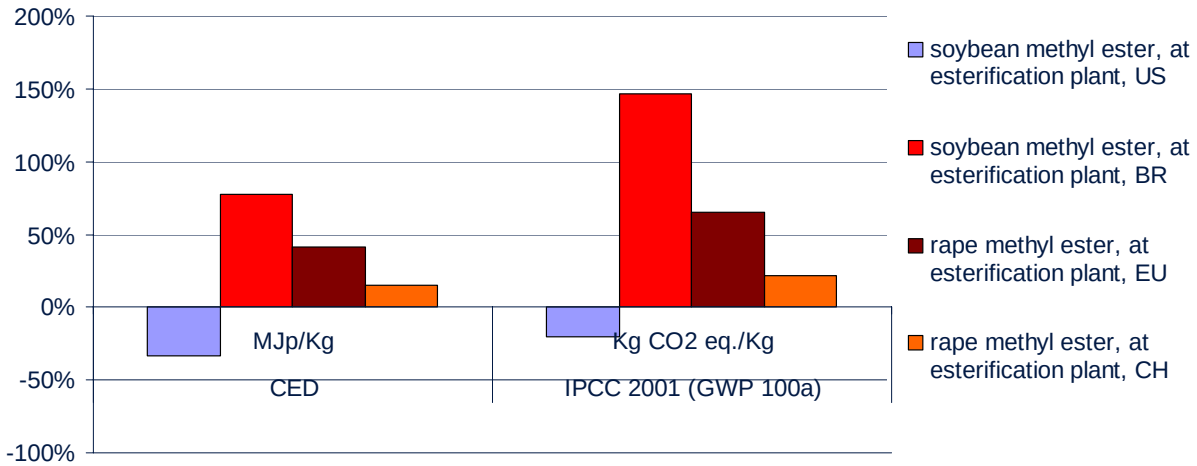


Figura 19. Desviación porcentual de los sistemas de referencia respecto al caso de estudio- Unidad de proceso: soybean metil-ester, at esterification plant, ARG.

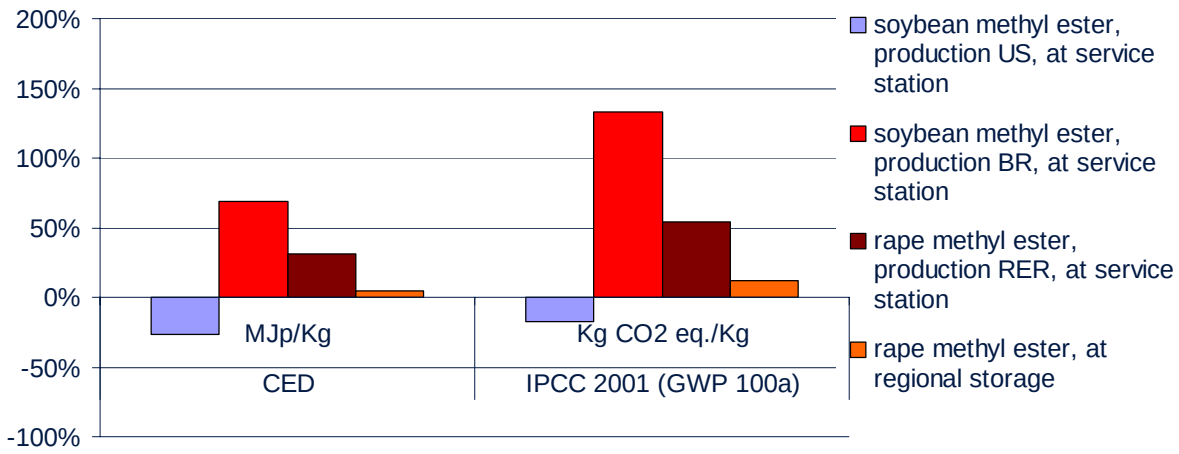


Figura 20. Desviación porcentual de los sistemas de referencia respecto al caso de estudio- Unidad de proceso: soybean metil-ester, production ARG, at service station CH.

Tabla 30. Comparación de resultados de la EICV del caso en estudio con los sistemas de referencia, por unidad de proceso e indicador.

Name	Resultados de EICV		Desviación absoluta		Desviación porcentual	
	DEA	IPCC 2001 GWP 100a)	DEA	IPCC 2001 (GWP 100a)	DEA	IPCC 2001 (GWP 100a)
	MJp/ kg	kg CO2 eq./ kg	MJp/ kg	kg CO2 eq. / kg	MJp/ kg	kg CO2 eq. / kg
soybeans, at farm, US	1,569E+00	5,008E-01	-2,50E+00	-5,24E-02	-61,42%	-9,48%
soybeans, at farm, BR	1,056E+01	1,629E+00	6,49E+00	1,08E+00	159,63%	194,49%
rape seed conventional, at farm, DE	9,706E+00	1,305E+00	5,64E+00	7,52E-01	138,61%	135,86%
rape seed IP, at farm, CH	6,348E+00	8,416E-01	2,28E+00	2,88E-01	56,06%	52,11%
rape seed extensive, at farm, CH	6,331E+00	8,631E-01	2,26E+00	3,10E-01	55,65%	56,01%
rape seed, organic, at farm, CH	4,392E+00	6,003E-01	3,24E-01	4,70E-02	7,96%	8,50%
soybeans, at farm, SP_SD, ARG	3,141E+00	5,882E-01	-9,27E-01	3,49E-02	-22,79%	6,31%
soybeans, at farm, SP_SC, ARG	7,893E+00	7,075E-01	3,83E+00	1,54E-01	94,05%	27,88%
soybeans, at farm, SS_SD, ARG	2,957E+00	3,906E-01	-1,11E+00	-1,63E-01	-27,29%	-29,40%
soybeans, at farm, SS_SC, ARG	8,388E+00	7,358E-01	4,32E+00	1,83E-01	106,22%	32,99%
soybeans, at farm, ARG (average)	4,068E+00	5,533E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00%	0,00%
soybean oil, at oil mill, US	6,677E+00	1,129E+00	-5,16E+00	-2,10E-01	-43,57%	-15,71%
soybean oil, at oil mill, BR	2,799E+01	3,884E+00	1,62E+01	2,54E+00	136,55%	189,98%
rape oil, at oil mill, EU	2,244E+01	2,700E+00	1,06E+01	1,36E+00	89,66%	101,62%
rape oil, at oil mill, CH	1,433E+01	1,732E+00	2,50E+00	3,92E-01	21,12%	29,28%
soybeans oil, at oil mill, ARG	1,183E+01	1,339E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00%	0,00%

Tabla 30 (cont). Comparación de resultados de la EICV del caso en estudio con los sistemas de referencia, por unidad de proceso e indicador.

Name	Resultados de EICV		Desviación absoluta		Desviación porcentual	
	DEA	IPCC 2001 (GWP 100a)	DEA	IPCC 2001 (GWP 100a)	DEA	IPCC 2001 (GWP 100a)
	MJp/ kg	kg CO2 eq./ kg	MJp/ kg	kg CO2 eq. / kg	MJp/ kg	kg CO2 eq. / kg
soybean methyl ester, at esterification plant, US	1,211E+01	1,255E+00	-6,04E+00	-3,14E-01	-33,29%	-19,99%
soybean methyl ester, at esterification plant, BR	3,228E+01	3,862E+00	1,41E+01	2,29E+00	77,83%	146,29%
rape methyl ester, at esterification plant, EU	2,566E+01	2,588E+00	7,51E+00	1,02E+00	41,37%	65,05%
rape methyl ester, at esterification plant, CH	2,094E+01	1,902E+00	2,79E+00	3,34E-01	15,39%	21,30%
soybean methy-ester, at esterification plant, ARG	1,815E+01	1,568E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00%	0,00%
soybean methyl ester, production US, at service station CH	1,517E+01	1,435E+00	-5,59E+00	-2,99E-01	-26,93%	-17,22%
soybean methyl ester, production BR, at service station CH	3,510E+01	4,034E+00	1,43E+01	2,30E+00	69,08%	132,70%
rape methyl ester, production RER, at service station CH	2,722E+01	2,676E+00	6,46E+00	9,42E-01	31,09%	54,36%
rape methyl ester, at regional storage CH	2,162E+01	1,941E+00	8,58E-01	2,07E-01	4,13%	11,94%
soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH	2,076E+01	1,734E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00%	0,00%

6. INTERPRETACION DE CICLO DE VIDA DEL CASO EN ESTUDIO

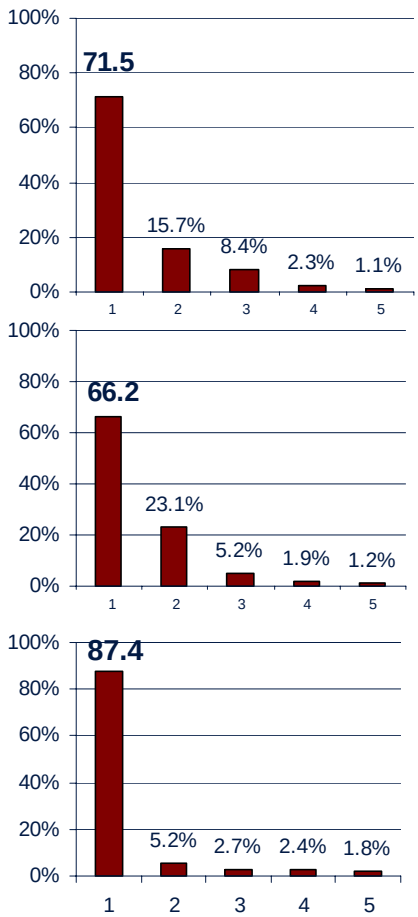
6.1. Contribución relativa al impacto

6.1.1. Consumo de energía primaria no renovable

En la Tabla-Figura 31 se presenta la contribución relativa de los elementos de cada unidad de proceso (excluida la fase agrícola) para el indicador 'consumo de energía primaria no renovable'. Se muestran los 5 elementos más significativos.

Tabla-Figura 31. Contribución relativa de elementos de inventario a la categoría de impacto 'consumo de energía primaria no renovable' (DEA).

A. soybean oil, at oil mill: SOLVENT EXTRACTION		
1	soybeans, at farm (average)	71,5%
2	transport, lorry 28t	15,7%
3	natural gas, burned in industrial furnace >100kW	8,4%
4	hexane, at plant	2,3%
5	electricity, medium voltage, production PT, at grid	1,1%
B. soybean methy-ester, at esterification plant, export		
1	soybeans oil, at oil mill, export	66,2%
2	methanol, at plant	23,1%
3	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	5,2%
4	electricity, medium voltage, production PT, at grid	1,9%
5	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant	1,2%
C. soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH		
1	soybean methy-ester, at esterification plant, export	87,4%
2	transport, transoceanic tanker	5,2%
3	transport, lorry 28t, CH	2,7%
4	transport, barge tanker	2,4%
5	transport, lorry 28t, ARG	1,8%



El 71,5% del impacto de la fase de extracción y refinación de aceite corresponde al grano de soja (fase agrícola), seguido por el transporte de insumos y productos. En la fase de transesterificacion del aceite de soja, las mayores contribuciones son del

aceite de soja (fase de extracción y refinación de aceite) y de la utilización de metanol (66,2 y 23,1% respectivamente).

Tabla-figura 32. Contribución de cada sistema productivo a la categoría de impacto 'consumo de energía primaria no renovable' (DEA).

soybeans, at farm (average)	
soybeans, at farm #1: SP_SD	38,1%
soybeans, at farm #2: SP_SC	28,6%
soybeans, at farm #3: SS_SD	22,2%
soybeans, at farm #4: SS_SC	11,1%
soybeans, at farm (average)	100,0%

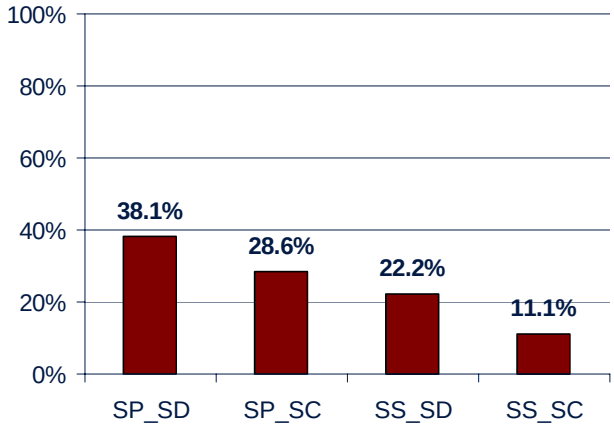


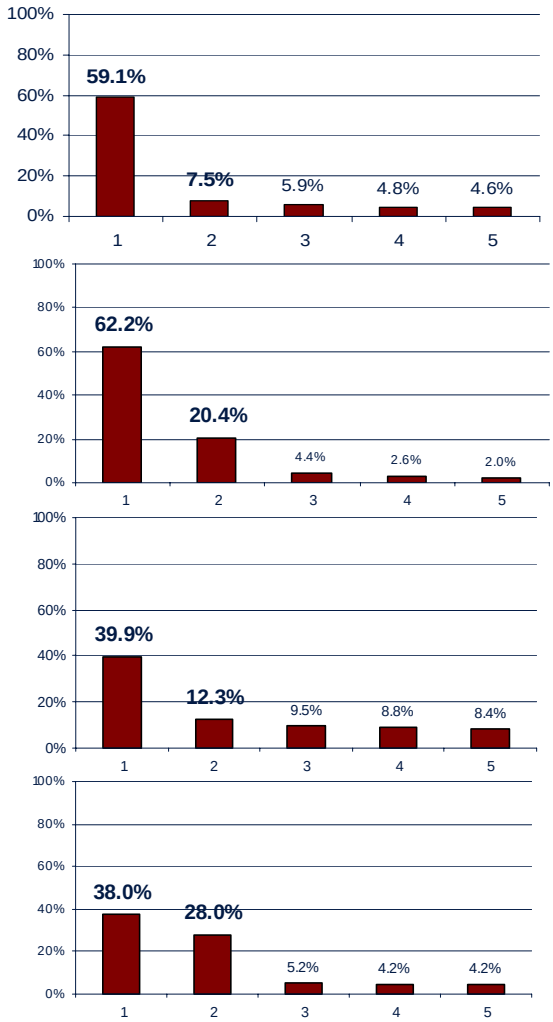
Tabla-figura 33. Contribución relativa de elementos de inventario de la fase agrícola a la categoría de impacto 'consumo de energía primaria no renovable' (DEA).

soybeans, at farm #1: SP_SD		
1	combine harvesting	59,1%
2	glyphosate, at regional storehouse	7,5%
3	pea seed IP, at regional storehouse	5,9%
4	transport, tractor and trailer	4,8%
5	sowing	4,6%

soybeans, at farm #2: SP_SC		
1	combine harvesting	62,2%
2	tillage, ploughing	20,4%
3	tillage, cultivating, chiselling	4,4%
4	pea seed IP, at regional storehouse	2,6%
5	sowing	2,0%

soybeans, at farm #3: SS_SD		
1	combine harvesting	39,9%
2	triple superphosphate, as P2O5, at RS	12,3%
3	pea seed IP, at regional storehouse	9,5%
4	sowing	8,8%
5	acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse	8,4%

soybeans, at farm #4: SS_SC		
1	combine harvesting	38,0%
2	tillage, ploughing	28,0%
3	triple superphosphate, as P2O5, at RS	5,2%
4	tillage, cultivating, chiselling	4,2%
5	sowing	4,2%



Finalmente, el impacto del transporte y distribución del metil-ester para su importación en Suiza se debe principalmente a la producción de metil-ester en Argentina y al transporte inter-oceánico (87,4 y 5,2%).

En la Tabla-Figura 32 se presenta la contribución relativa de cada sistema productivo de la fase agrícola, en función de la distribución de la producción y el impacto ambiental asociado. La producción de soja de primera en siembra directa representa el 38,1% del impacto, seguido de la producción de soja de segunda en siembra directa (28,5%). La producción bajo labranza convencional, si bien tiene un impacto ambiental mayor, contribuyen en menor medida debido a la menor producción de soja bajo dicho sistema.

La contribución de los 5 elementos más significativos de cada sistema productivo de la fase agrícola se presenta en la Tabla-Figura 33. En todos los casos la siembra (combine harvesting) es el elemento de mayor impacto (59,1%-SP_SD, 62,2%- SP-SC, 39,9%-SS_SD y 38%-SS-SC, respectivamente). En los sistemas productivos de labranza convencional el segundo elementos de mayor relevancia en el impacto ambiental es el arado con disco doble (tillage, ploughing)- 20,4% SP_SC y 28,4% SS_SC, respectivamente. En los sistemas productivos en siembra directa es relevante la aplicación de glifosato (glyphosate, at regional storage) para la soja de primera y la aplicación de fertilizantes fosforados (triple superphosphate, as P_2O_5, at regional storage).

6.1.2. Potencial de emisión de gases de efecto invernadero

En la Tabla-Figura 34 se presenta la contribución relativa de los elementos de cada unidad de proceso (excluida la fase agrícola) para el indicador 'potencial de emisiones de gases de efecto invernadero'. Se muestran los 5 elementos más significativos.
Las contribuciones relativas de cada elemento para esta categoría de impacto son similares a las obtenidas para el primer indicador.
El 85,9% del impacto de la fase de extracción y refinación de aceite corresponde al grano de soja (fase agrícola), seguido por el transporte de insumos y productos. En la fase de transesterificación del aceite de soja, las mayores contribuciones son del aceite de soja (fase de extracción y refinación de aceite) y de la utilización de metanol (86,7 y 5,2% respectivamente).
Finalmente, el impacto del transporte y distribución del metil-ester para su importación en Suiza se debe principalmente a la producción de metil-ester en Argentina y al transporte inter-oceánico (90,5 y 3,9%).

En la Tabla-Figura 35 se presenta la contribución relativa de cada sistema productivo de la fase agrícola, en función de la distribución de la producción y el impacto ambiental asociado. La producción de soja de primera en siembra directa representa el 52,4% del impacto, seguido de la producción de soja de segunda en siembra directa (21,5%). La producción bajo labranza convencional, si bien tiene un impacto ambiental mayor, contribuyen en menor medida debido a la menor producción de soja bajo dicho sistema.

Tabla-figura 34. Contribución relativa de elementos de inventario a la categoría de impacto 'potencial de emisiones de gases de efecto invernadero' (IPCC, GWP 100a).

A. soybean oil, at oil mill: SOLVENT EXTRACTION		
1	soybeans, at farm (average)	85,9%
2	transport, lorry 28t	8,3%
3	natural gas, burned in industrial furnace >100kW	4,2%
4	electricity, medium voltage, production PT, at grid	0,8%
5	transport, freight, rail	0,3%
B. soybean methy-ester, at esterification plant, export		
1	soybeans oil, at oil mill, export	86,7%
2	methanol, at plant	5,2%
3	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	3,4%
4	electricity, medium voltage, production PT, at grid	1,7%
5	heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW	1,0%
C. soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH		
1	soybean methy-ester, at esterification plant, export	90,5%
2	transport, transoceanic tanker	3,9%
3	transport, barge tanker	2,1%
4	transport, lorry 28t, CH	1,9%
5	transport, lorry 28t, ARG	1,3%

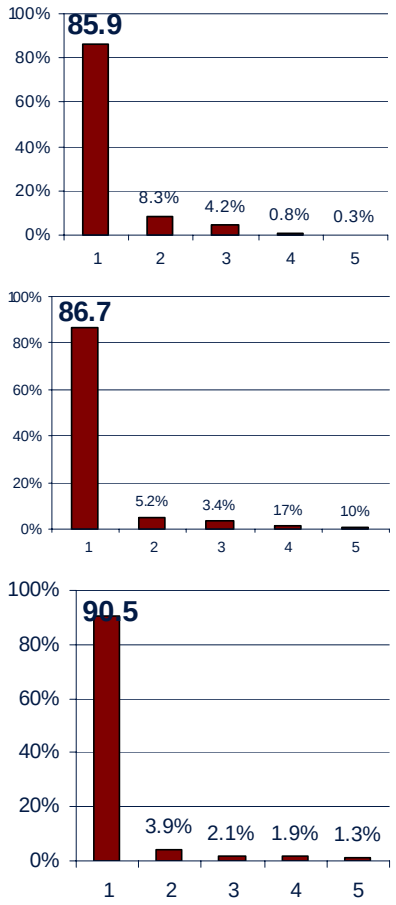
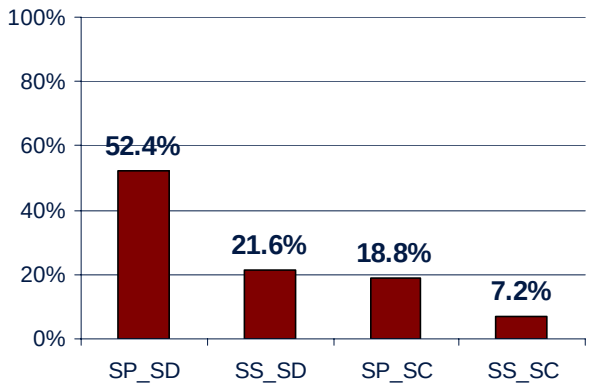


Tabla-figura 35. Contribución de cada sistema productivo a la categoría de impacto 'potencial de emisiones de gases de efecto invernadero' (IPCC, GWP 100a).

soybeans, at farm (average)	
soybeans, at farm #1: SP_SD	52,4%
soybeans, at farm #3: SS_SD	21,6%
soybeans, at farm #2: SP_SC	18,8%
soybeans, at farm #4: SS_SC	7,2%
soybeans, at farm (average)	100,0%



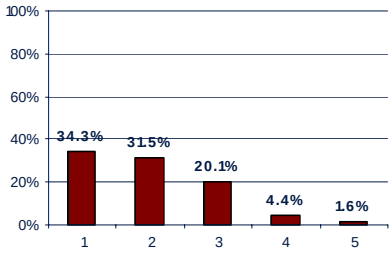
En conclusión, el impacto ambiental de la producción de metil-ester está estrictamente ligada a la fase agrícola.

La contribución de los 5 elementos más significativos de cada sistema productivo de la fase agrícola se presenta en la Tabla-Figura 36. Las emisiones de óxidos de nitrógeno (Dinitrogen monoxide, air, low population density) es el elemento de mayor impacto para los sistemas productivos en siembra directa (34,3%- SP_SD, 50,0%- SS_SD, respectivamente). Para el caso de la soja de primera (SP_SD) las emisiones de CO_2 provenientes de la deforestación para fines agrícolas (Carbon dioxide, land transformation, air, low population density) y la siembra directa (combine harvesting) contribuyen a su vez con el 31,5% y el 20,1% de las emisiones de CO_2 eq. Para la soja de segunda en siembra directa, al no haber deforestación (según hipótesis) el tercer elemento contribuyente es la obtención de semilla de soja para la siembra (pea seed IP, at regional storehouse).
En los sistemas productivos de labranza convencional las mayores emisiones de CO_2 eq. provienen de la labranza convencional (44,3%- SP y 27,6% SS, respectivamente) y de las emisiones de N_2O (27,6- SP y 26,6%- SS, respectivamente). También resulta de importancia la contribución del arado de disco doble.

Tabla-figura 36. Contribución relativa de elementos de inventario de la fase agrícola a la categoría de impacto 'potencial de emisiones de gases de efecto invernadero' (IPCC, GWP 100a).

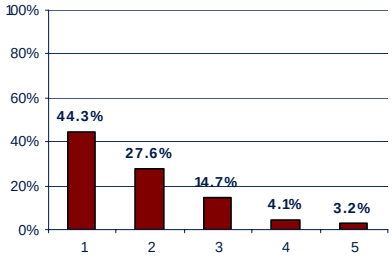
soybeans, at farm #1: SP_SD

1	Dinitrogen monoxide, air, low population density	34,3%
2	Carbon dioxide, land transformation, air, low population density	31,5%
3	combine harvesting	20,1%
4	pea seed IP, at regional storehouse	4,4%
5	transport, tractor and trailer	1,6%



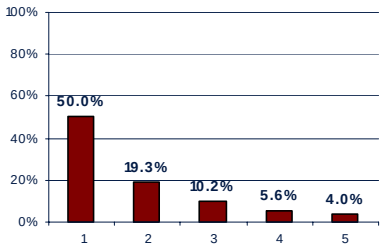
soybeans, at farm #2: SP_SC

1	combine harvesting	44,3%
2	Dinitrogen monoxide, air, low population density	27,6%
3	tillage, ploughing	14,7%
4	pea seed IP, at regional storehouse	4,1%
5	tillage, cultivating, chiselling	3,2%



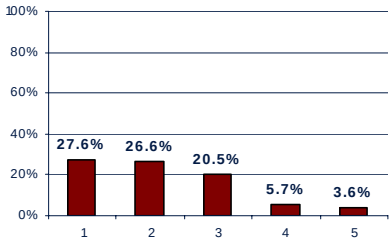
soybeans, at farm #3: SS_SD

1	Dinitrogen monoxide, air, low population density	50,0%
2	combine harvesting	19,3%
3	pea seed IP, at regional storehouse	10,2%
4	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	5,6%
5	sowing	4,0%



soybeans, at farm #4: SS_SC

1	combine harvesting	27,6%
2	Dinitrogen monoxide, air, low population density	26,6%
3	tillage, ploughing	20,5%
4	pea seed IP, at regional storehouse	5,7%
5	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	3,6%



6.2. Análisis de sensibilidad

La fase agrícola contribuye con casi la totalidad del impacto ambiental generado por el caso en estudio, para ambos indicadores. El análisis de sensibilidad se definió en función de la contribución relativa al impacto de los elementos más significativos de la fase agrícola para cada indicador. Además, se evaluó el efecto de la asignación de co-productos en función del contenido energético.

6.2.1. Asignación de co-productos en función del contenido energético.

La comparación entre la asignación de productos por valor económico y contenido energético, para ambos indicadores se presenta en las Figuras 21 y 22. La asignación económica resulta en mayores impactos para el metil-ester en ambos casos, ya que el contenido energético de la torta (pellets) y de la glicerina son mayores en proporción a su valor comercial, resultando en un traslado del impacto a los co-productos. Sin embargo, el impacto global del sistema (producto + co-producto) permanece invariable.

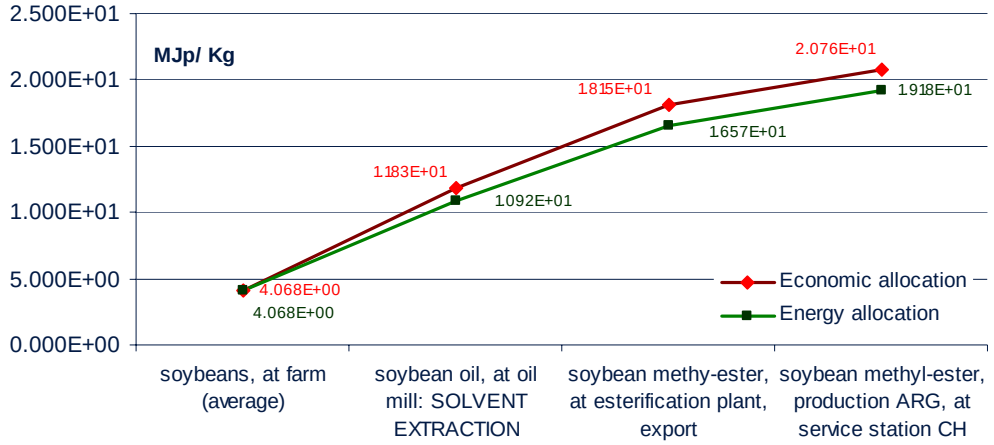


Figura 21. Comparación de asignación de co-productos para el indicador 'consumo de energía primaria no renovable' (DEA).

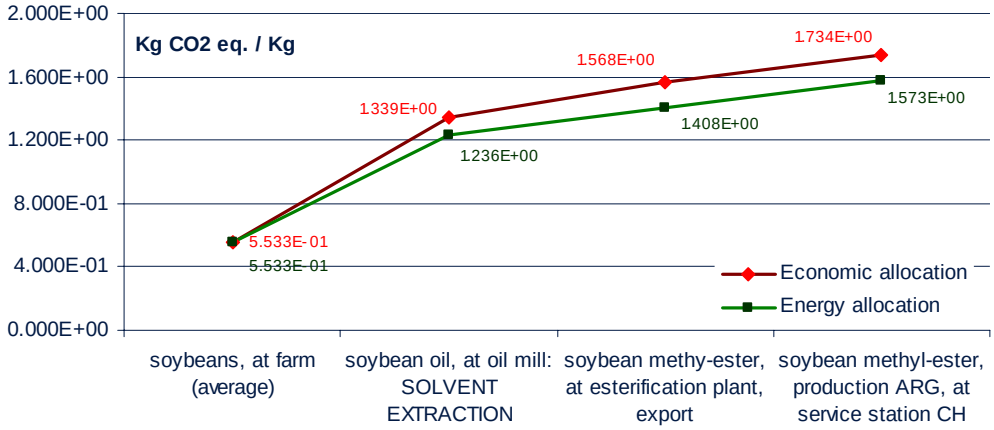


Figura 22. Comparación de asignación de co-productos para el indicador 'potencial de emisiones de gases de efecto invernadero' (IPCC, GWP 100a).

Por otro lado, las diferencias obtenidas entre los sistemas de asignación, en relación al balance energético, no son significativas y no deben presentar un problema al evaluar el impacto ambiental del sistema.

6.2.2. Sensibilidad de variables en la fase agrícola.

La sensibilidad del rendimiento es la variable fundamental, ya que de este depende la definición de todo el sistema en función de la unidad funcional (Figura 23). La pendiente de la línea de tendencia representa el grado de sensibilidad de la variable.

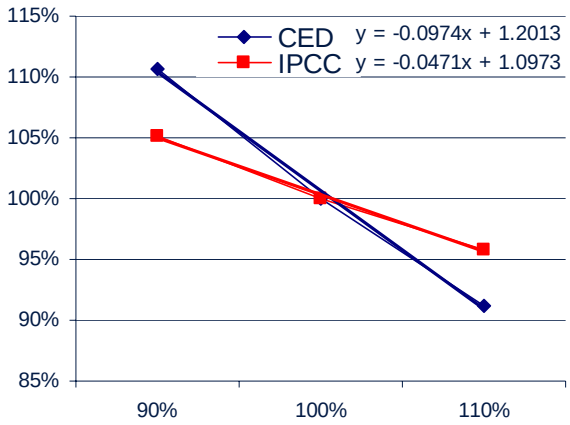
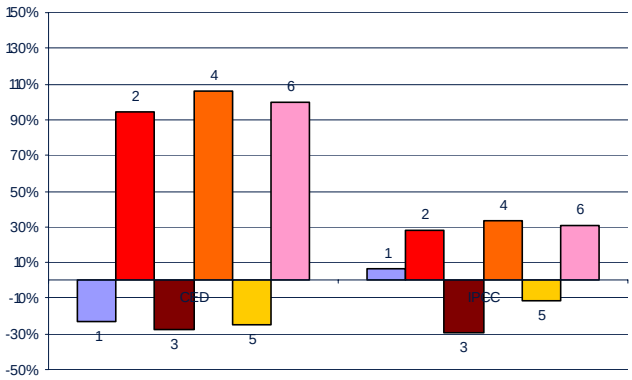


Figura 23. Sensibilidad del rendimiento del sistema productivo promedio para ambos indicadores.

Para el caso de la demanda acumulada de energía (DEA), el rendimiento es más sensible que para el indicador IPCC, con pendientes de -0,097 y -0,0471, respectivamente. Las pendientes son negativas ya que a mayores rendimientos hay una mayor distribución de impacto y en consecuencia una menor relevancia cuando se expresa en función de la unidad funcional. La sensibilidad se evaluó en un rango de ± 10%, con rendimientos promedio de 2’850 kg/ha y 2’332 kg/ha, respecto de la media (2’591 kg/ha).

Tabla-figura 37. Sensibilidad de la distribución de la producción entre sistemas agrícolas.

Distribución de la producción		
Ref.	Sistema	Distribución (%)
1	SP_SD	100
2	SP_SC	100
3	SS_SD	100
4	SS_SC	100
5	SP_SD + SS_SD	50-50
6	SP_SC + SS_SC	50-50



La distribución de la producción entre los distintos sistemas se evaluó para cada proceso (100% de la producción realizada bajo un solo sistema productivo) y para combinaciones de siembra directa (50% soja de primera y 50% soja de segunda) y labranza convencional (50% soja de primera y 50% soja de segunda).
Los resultados se presentan como desviaciones porcentuales respecto del sistema promedio de referencia (soybean, at farm (average)) y se presentan en la Tabla-Figura 37.
Los mayores desvíos se dan para los sistemas en labranza directa, posiblemente por el mayor uso de combustible en este tipo de labranza, respecto a la siembra directa. El mayor beneficio ambiental (menor impacto) se obtiene de la producción de soja de segunda en siembra directa, para ambos indicadores.
Finalmente, se evaluó la sensibilidad del uso de insumos (Figuras 24 y 25). La mayor sensibilidad del sistema, según lo anticipado para el caso de labranza convencional, resulta para el uso de combustibles. Tanto el consumo de energía primaria no renovable como las emisiones de CO_2 eq. son más sensibles al uso de combustibles que al uso de glifosato y fertilizantes fosforados.

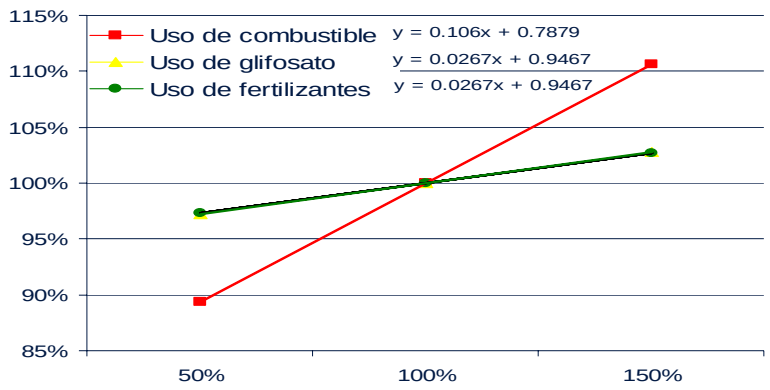


Figura 24. Sensibilidad de variables de la fase agrícola para el sistema productivo promedio y el indicador 'consumo de energía primaria, no renovable'.

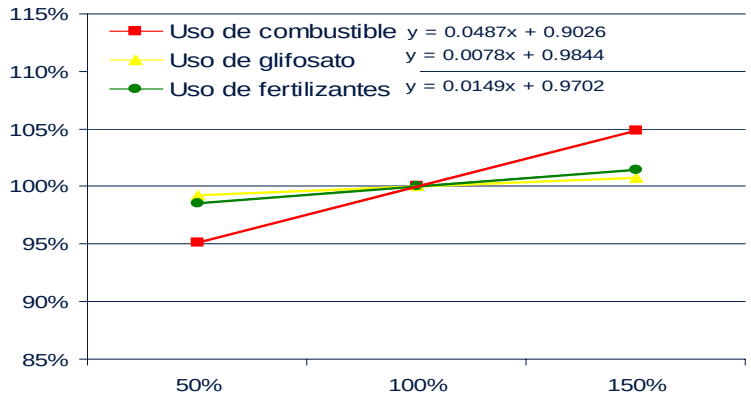


Figura 25. Sensibilidad de variables de la fase agrícola para el sistema productivo promedio y el indicador 'potencial de emisión de gases de efecto invernadero'.

Cabe mencionar que el estudio de sensibilidad es específico a los indicadores ambientales seleccionados. Por ejemplo, si se quisiera evaluar la pérdida de

biodiversidad, el sistema seria posiblemente más sensible al uso de agroquímicos que al uso de combustibles.

6.3. Comparación con los sistemas de referencia

La comparación de los resultados del sistema en estudio con los casos de referencia se basa en la utilización de los mismos límites del sistema, en el análisis de los mismos indicadores y las mismas metodologías de impacto. Sin embargo, resulta difícil determinar el origen de las diferencias entre los resultados de unos y otros. Hay muchos factores que pueden influenciar los valores de los resultados obtenidos, tal como la calidad de los datos de inventario, las prácticas agrícolas, las tecnologías empleadas, la capacidad de las plantas procesadoras, los métodos de asignación de co-productos, la estructura y la eficiencia del sistema energético, etc.
Teniendo en cuenta lo mencionado, en base a los indicadores seleccionados y el alcance y la meta del estudio, el sistema evaluado resulta en menores impactos ambientales respecto a los sistemas de referencia, con excepción del caso de producción de metil-ester en Estados Unidos.
Los resultados de los casos de referencia fueron tomados de la base de datos de Ecoinvent. Sin embargo, los resultados del estudio de estos sistemas son provisorios y no están oficialmente publicados. En conclusión, si bien existen los valores respectivos, solo se explican las posibles diferencias en forma cualitativa. Solo se tuvo acceso a los valores de inventario de los casos de Brasil y Estados Unidos para la fase agrícola. Para el resto de los sistemas de referencia, solo se conocen los resultados de las evaluaciones de impacto de cada proceso unitario, pero no así los datos de inventario.
Las causas de las diferencias con el caso Estados Unidos y el caso Brasil se pueden explicar de la siguiente manera:

$B100_{soja, US}$

Los rendimientos del sistema productivo en Estados Unidos son superiores a los definidos en el caso en estudio. Si bien el uso de fertilizante es menor para el caso argentino, el uso de agroquímicos y el uso de combustibles es menor para el caso de Estados Unidos. A su vez, las distancias de transporte de insumos y productos son menores para el caso de Estados Unidos.

$B100_{soja, BR}$

El factor más influyente de las diferencias con el caso Brasil es posiblemente la deforestación de tierras para la producción agrícola. Si bien el consumo de combustible en la fase agrícola es menor, las distancias de transporte de insumos y productos son mayores. Sin bien el uso de fertilizantes es menor en Brasil que en Argentina, el uso de pesticidas en menor en el caso Argentino.

Para los casos de producción de metil-ester de colza en la Unión Europea y en Suiza ($B100_{colza, EU}$, $B100_{colza, CH}$) la diferencia radica en la utilización de otra materia prima (colza). Si bien la deforestación y el transporte de insumos y productos es previsiblemente menor que en los casos anteriores, el uso de fertilizantes, pesticidas y combustibles es posiblemente mayor, considerando que no se encuentra tan generalizado el uso de la siembra directa como en los otros casos.

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes del presente estudio se detallan a continuación.

- ⇒ Se verifica el potencial de la Argentina como exportador de metil-ester de soja en función de los indicadores ambientales evaluados.
- ⇒ El impacto ambiental de la producción de metil-ester está estrictamente ligada a la fase agrícola.
- ⇒ El consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de gases de efecto invernadero son menores para el caso Argentina, en comparación con los casos de referencia, a excepción del caso Estados Unidos.
- ⇒ El rendimiento de los cultivos bajo cada sistema productivo es fundamental para determinar el impacto ambiental de todo el sistema.
- ⇒ El uso de combustibles, glifosato y fertilizantes fosforados son factores de importancia en el impacto ambiental del sistema.
- ⇒ La cosecha es el principal contribuyente al consumo energético para todos los sistemas productivos y a la emisión de gases de efecto invernadero para los sistemas bajo labranza convencional.
- ⇒ Las emisiones de óxidos de nitrógeno, tanto directas del cultivo como las indirectas derivadas de la fijación de nitrógeno y el uso de fertilizantes son el principal contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de siembra directa.
- ⇒ Para los sistemas de labranza convencional resulta significativo el impacto de la utilización del arado de disco doble, para ambas categorías de impacto.
- ⇒ Se verifica la necesidad de contar con datos de mejor calidad para aumentar la fiabilidad de los resultados.
- ⇒ Se verifica la necesidad de completar el presente estudio con el análisis del sistema considerando otros indicadores ambientales relevantes, tales como la degradación de suelos, la perdida de biodiversidad, las emisiones al agua y al suelo.

- ⇒ La utilización de organismos genéricamente modificados y el sistema de monocultivo para la producción de biodiesel debe ser específicamente tratado.

- ⇒ El presente estudio es solo la base y el punto de partida para el estudio del impacto ambiental de la producción de metil-ester en Argentina. El impacto de la utilización de otros cultivos como el girasol, el cártamo o la colza debe ser tratado.

- ⇒ El impacto ambiental de la producción de metil-ester para el consumo local, según lo definido en la ley de biocombustibles, no fue tratado en este trabajo. Esta cuestión debe ser estudiada en el futuro para definir el impacto ambiental total del sistema considerando tanto la producción para la exportación como la producción para consumo interno.

- ⇒ La fase de uso final del producto no fue tratada en este estudio por estar fuera del alcance y meta definidos. Para el caso de consumo nacional o para comparación del sistema en estudio en referencia al diesel convencional, esta cuestión debe ser estudiada.

- ⇒ El impacto ambiental de los co-productos del sistema (pellets de soja y glicerina) no fue evaluado en el presente estudio, por estar fuera del alcance y meta del mismo. Esta cuestión debe ser tratada en un futuro.

- ⇒ El estudio se definió para el biodiesel puro (B100). Otras formulaciones (B5, B20) y el impacto ambiental asociado al corte con combustibles convencionales deben ser evaluadas.

- ⇒ Los procesos unitarios de producción de aceite y metil-ester se modelizaron en base a una única tecnología y capacidad productiva. El efecto de la tecnología empleada y el efecto de escala (tamaño de planta) debe ser estudiado.

- ⇒ Se verifica la utilidad del ACV para determinar el impacto ambiental y los factores más influyentes del sistema a la contribución del impacto.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AACREA, 2006. Industria Aceitera. Alimentos Argentinos II. Disponible en: http://www.aacrea.org.ar.

2. ASAL S., R. MARCUS, 2005a. Biomass energy potential in Argentina. Report. Université Paris-Dauphine. 102 pp.

3. ASAL S., R. MARCUS, 2005b. An analysis of the obstacles to the development of a sustainable biodiesel industry in Argentina. Report. Université Paris-Dauphine. DU-Développement Durable & Organisations. 77 pp.

4. CIANI R., A. ESPOSITO, 2005. Perfil descriptivo de la cadena de oleaginosos. SAGPyA, 25 pp. Disponible en: http://www.sagpya.gov.ar.

5. CLARÍN, 2006. Negocios & mercados: Un mercado que ya está en la mira de las grandes petroleras y aceiteras: Argentina realizó la primera exportación de biodiesel. Disponible en: http://www.clarin.com.

6. COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, 2006. Estrategia de la UE para los biocarburantes, SEC(2006) 142. Bruselas, 8.2.2006, COM(2006) 34 final.

7. DAURIAT A., 2006. Comunicación personal.

8. DONATO, L., L. MOLTONI, J. HILBERT, 2005. La producción de biocombustibles empleando siembra directa en la Argentina: Implicancias económicas y energéticas. Instituto de Ingeniería Rural-INTA.

9. ECOINVENT, 2006a. Life Cycle Assessment of oil-based biofuels. A. Dauriat (ENERS Energy Concepts, Lausanne) and E. Gnansounou (Laboratory of Energy Systems-LASEN, EPFL). Draft report for Ecoinvent N° 16. Pp. 72.

10. ECOINVENT, 2006b. Soybean in Ecoinvent. J. Sutter, ETH S+U, Zurich. Draft report for Ecoinvent. Pp. 15.

11. EL SANTAFESINO, 2006. Desde 2005 se anunciaron inversiones por 285 millones de dólares para producir Biodiesel en la Argentina. Redacción El Santafesino, 15/10/2006. Disponible en: http://www.elsantafesino.com.

12. EUROBSERV'ER, 2005. Biofuels Barometer 2005. Disponible en: : http://www.energies-renouvelables.org/observer

13. EUROBSERV'ER, 2006. Biofuels Barometer 2006. Disponible en: http://www.energies-renouvelables.org/observer.

14. FALASCA S., M. A. BERNABÉ, A. ULBERICH, 2005. Impacto regional en la zona semiárida argentina Implantando cultivos para biodiesel. Disponible en: http://www.gsdi9.cl.

15. FAUBA, 2003. Biodiesel, una alternativa sustentable a los combustibles fósiles. http://www.agro.uba.ar.

16. FRANCO D., 2004. Aceite de soja 2004: Análisis de Cadena Alimentaria. SAGPyA, Dirección de Industria Alimentaria. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gov.ar.

17. FRANCO D., 2005a. Aceite de soja: Análisis de Cadena Alimentaria. Resumen Septiembre-05. SAGPyA. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gov.ar.

18. FRANCO D., 2005b. Logística en la cadena de oleaginosas. SAGPyA, Dirección de Industria Alimentaria. Revista Alimentos Argentinos N° 30, Oct. 2005. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gov.ar.

19. FRANK, F., 2006. Comunicación personal.

20. IDIED, 2004. Indicadores económicos regionales, Septiembre 2004. Disponible en: http://www.austral.edu.ar/FCE/inst_idied.htm.

21. INDEC, 2002. Censo Nacional Agropecuario, 2002. Disponible en: http://www.indec.gov.ar.

22. INDEC, 2006. Exportaciones del Complejo soja, por zonas económicas, según componentes. Años 2000-2004. Disponible en: http://www.indec.gov.ar.

23. ISO, 2000. Technical Report ISO/TR 14049:2000. Environmental management. Life cycle assessment. Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis.

24. ISO, 2002. Technical Standard ISO/TS 14048:2002. Environmental management. Life cycle assessment. Data documentation format.

25. ISO, 2003. Technical Report ISO/TR 14047:2003. Environmental management. Life cycle impact assessment. Examples of application of ISO 14042.

26. ISO, 2006a. Norma ISO 14040:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.

27. ISO, 2006b. Norma ISO 14044:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.

28. KIM S., E. B. DALE, 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. *Biomass and Bioenergy 29 426–439.*

29. LBOSA, 2006. Mayores exigencias para el transporte marítimo de aceites. Nota del 09/10/2006. Disponible en: http://www.lbosa.com.ar.

30. LEONE, A., 2006. Comunicación personal.

31. MARGENES AGROPECUARIOS, 2006. Costos y márgenes de producción para soja de primera y soja de segunda. Revista Márgenes Agropecuarios, 2/10/06, pp. 57-59.

32. NEMECEK T., A. HEIL, O. HUGUENIN, S. MEIER, S. ERZINGER, S. BLASER, D. DUX., A. ZIMMERMANN, 2004. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent 2000 No. 15. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. Disponible en: www.ecoinvent.ch.

33. PE, 2003. Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte. Disponible en: www.ebb-eu.org.

34. PENGUE W., 2005. Transgenic crops in Argentina: the ecological and social debt. Bulletin of Science, *Technology and Society* 25: 314-322.

35. PIMENTEL, D., T.W. PATZEK, 2005. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower," *Natural Resources Research, 14(1): 65-75.*

36. SAGPyA, 1999.Transporte y Embarques de Granos - Anuario 1999.

37. SAGPyA, 2006a. Estimaciones agrícolas. Disponible en: http://www.sagpya.gov.ar/.

38. SAGPyA, 2006b. Panorama del uso y consumo de fertilizantes en Argentina. Disponible en: http://www.sagpya.mecon.gov.ar.

39. SAGPyA, 2006c. Diagrama de proceso industrial- Soja. Disponible en: http://www.sagpya.gov.ar.

40. SAGPyA, 2006d. Evolución de los precios externos de oleaginosos. Disponible en: http://www.sagpya.mecon.gov.ar.

41. SAGPyA-IICA, 2005. Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil. *Documento N° ISBN : 987-9159-07-1. 149 pp.*

42. SECRETARIA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN, 2006. Matríz energética primaria. Disponible en: http://energia3.mecon.gov.ar.

43. SHEEHAN, J., V. CAMOBRECO, J. DUFFIELD, M. GRABOSKI, H. SHAPOURI, 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final Report, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, May, 1998. 314 pp.

44. TRAMA, L., 2006. Comunicación personal.

9. ANEXO

En el Anexo se presentan las planillas de cálculo con los resultados de cada proceso unitario para los dos indicadores seleccionados:

9.1. DEA

9.1. A. Soybeans, at farm, SP_SD, ARG

9.1. B. Soybeans, at farm, SP_SC, ARG

9.1. C. Soybeans, at farm, SS_SD, ARG

9.1. D. Soybeans, at farm, SS_SC, ARG

9.1. E. Soybeans, at farm, ARG (average)

9.1. F. Soybeans oil, at oil mill, ARG

9.1. G. Soybean methy-ester, at esterification plant, ARG

9.1. H. Soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH

9.2. IPCC (GWP, 100a)

9.2. A. Soybeans, at farm, SP_SD, ARG

9.2. B. Soybeans, at farm, SP_SC, ARG

9.2. C. Soybeans, at farm, SS_SD, ARG

9.2. D. Soybeans, at farm, SS_SC, ARG

9.2. E. Soybeans, at farm, ARG (average)

9.2. F. Soybeans oil, at oil mill, ARG

9.2. G. Soybean methy-ester, at esterification plant, ARG

9.2. H. Soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH

9.1. A. Soybeans, at farm, SP_SD, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #1: SP_SD								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1862	monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse	RER	kg	5.69E+01 MJ/kg	7.150E-04	4.070E-02	1.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1863	monoammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	2.31E+01 MJ/kg	3.098E-03	7.165E-02	2.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1993	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	3.32E+01 MJ/kg	1.145E-03	3.797E-02	1.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	7.38E+00 MJ/kg	2.491E-02	1.838E-01	5.9%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	6.273E-07	3.098E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1881	benzoic-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.11E+02 MJ/kg	2.509E-06	5.288E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	1.220E-06	6.022E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1896	diphenylether-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.44E+02 MJ/kg	5.881E-07	2.614E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	2005	cyclic N-compounds, at regional storehouse	RER	kg	1.34E+02 MJ/kg	5.881E-07	7.882E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	1.594E-05	7.874E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.09E+02 MJ/kg	2.040E-04	4.267E-02	1.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1881	benzoic-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.11E+02 MJ/kg	3.086E-05	6.503E-03	0.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	3.90E+02 MJ/kg	3.077E-04	1.200E-01	3.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	3.90E+02 MJ/kg	6.021E-04	2.349E-01	7.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	3.90E+02 MJ/kg	6.498E-05	2.535E-02	0.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1855	2,4-D, at regional storehouse	RER	kg	7.94E+01 MJ/kg	1.346E-04	1.069E-02	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1853	[sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.85E+02 MJ/kg	1.348E-06	3.836E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	3.63E+02 MJ/ha	4.003E-04	1.451E-01	4.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.78E+02 MJ/ha	7.721E-04	1.372E-01	4.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	3.97E+02 MJ/ha	8.127E-05	3.225E-02	1.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	2.39E+03 MJ/ha	7.784E-04	1.857E+00	59.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	4.86E+00 MJ/tkm	3.094E-02	1.502E-01	4.8%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	9.370E-03	3.476E-02	1.1%
		soybeans, at farm #1: SP_SD	ARG	kg		1.000E+00	3.141E+00	100.0%

9.1. B. Soybeans, at farm, SP_SC, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #2: SP_SC								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	7.38E+00 MJ/kg	2.745E-02	2.025E-01	2.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	1.159E-05	5.725E-03	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1881	benzoic-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.11E+02 MJ/kg	5.455E-05	1.150E-02	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	2.560E-06	1.264E-03	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.09E+02 MJ/kg	1.720E-05	3.598E-03	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	3.90E+02 MJ/kg	2.649E-04	1.033E-01	1.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	3.90E+02 MJ/kg	3.437E-04	1.341E-01	1.7%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1879	benzimidazole-compounds, at regional storehouse	RER	kg	3.48E+02 MJ/kg	4.188E-06	1.459E-03	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.78E+02 MJ/ha	3.332E-04	5.921E-02	0.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1984	tillage, ploughing	CH	ha	1.81E+03 MJ/ha	8.885E-04	1.613E+00	20.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1981	tillage, harrowing, by spring tine harrow	CH	ha	3.85E+02 MJ/ha	2.221E-04	8.562E-02	1.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	3.63E+02 MJ/ha	4.443E-04	1.611E-01	2.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	3.97E+02 MJ/ha	1.777E-04	7.051E-02	0.9%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1983	tillage, cultivating, chiselling	CH	ha	1.09E+03 MJ/ha	3.199E-04	3.489E-01	4.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	2.39E+03 MJ/ha	2.059E-03	4.911E+00	62.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	4.86E+00 MJ/tkm	3.084E-02	1.498E-01	1.9%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	8.445E-03	3.133E-02	0.4%
		soybeans, at farm #2: SP_SC	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**7.893E+00**	100.0%

9.1. C. Soybeans, at farm, SS_SD, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #3: SS_SD								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1993	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	3.32E+01 MJ/kg	1.095E-02	3.632E-01	12.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	7.38E+00 MJ/kg	3.810E-02	2.811E-01	9.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	1.786E-05	8.818E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.09E+02 MJ/kg	3.200E-04	6.693E-02	2.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	1.667E-05	8.230E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.09E+02 MJ/kg	1.667E-04	3.486E-02	1.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	2005	cyclic N-compounds, at regional storehouse	RER	kg	1.34E+02 MJ/kg	2.514E-04	3.370E-02	1.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1856	acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.33E+02 MJ/kg	1.071E-03	2.496E-01	8.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	3.63E+02 MJ/ha	7.200E-04	2.611E-01	8.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.78E+02 MJ/ha	9.600E-04	1.706E-01	5.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	3.97E+02 MJ/ha	2.256E-04	8.951E-02	3.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	2.39E+03 MJ/ha	4.947E-04	1.180E+00	39.9%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	4.86E+00 MJ/tkm	3.153E-02	1.531E-01	5.2%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	1.527E-02	5.664E-02	1.9%
		soybeans, at farm #3: SS_SD	ARG	kg		1.000E+00	2.957E+00	100.0%

9.1. D. Soybeans, at farm, SS_SC, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #4: SS_SC								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1993	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	3.32E+01 MJ/kg	1.314E-02	4.359E-01	5.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	7.38E+00 MJ/kg	4.000E-02	2.951E-01	3.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	2.143E-05	1.058E-02	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.09E+02 MJ/kg	3.840E-04	8.031E-02	1.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.94E+02 MJ/kg	2.000E-05	9.876E-03	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.09E+02 MJ/kg	2.000E-04	4.183E-02	0.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	2005	cyclic N-compounds, at regional storehouse	RER	kg	1.34E+02 MJ/kg	3.017E-04	4.044E-02	0.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1856	acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.33E+02 MJ/kg	1.286E-03	2.995E-01	3.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.78E+02 MJ/ha	1.295E-03	2.301E-01	2.7%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1984	tillage, ploughing	CH	ha	1.81E+03 MJ/ha	1.295E-03	2.350E+00	28.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1981	tillage, harrowing, by spring tine harrow	CH	ha	3.85E+02 MJ/ha	6.474E-04	2.495E-01	3.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	3.63E+02 MJ/ha	9.711E-04	3.521E-01	4.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	3.97E+02 MJ/ha	6.085E-04	2.414E-01	2.9%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1983	tillage, cultivating, chiselling	CH	ha	1.09E+03 MJ/ha	3.237E-04	3.530E-01	4.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	2.39E+03 MJ/ha	1.334E-03	3.183E+00	38.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	4.86E+00 MJ/tkm	3.166E-02	1.537E-01	1.8%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	1.661E-02	6.160E-02	0.7%
		soybeans, at farm #4: SS_SC	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**8.388E+00**	100.0%

9.1. E. Soybeans, at farm, ARG (average).

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact

Allocation method

Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND

CO2 credit ecoinvent

soybeans, at farm (average)

General parameters

Sistema	%
SP_SD	49.28
SP_SC	14.72
SS_SD	30.6
SS_SC	5.4

Process characterization

	soybeans, at farm #1: SP_SD	ARG	kg	3.14E+00 MJ/kg	1.000E+00	1.548E+00	38.1%
	soybeans, at farm #2: SP_SC	ARG	kg	7.89E+00 MJ/kg	1.000E+00	1.162E+00	28.6%
	soybeans, at farm #3: SS_SD	ARG	kg	2.96E+00 MJ/kg	1.000E+00	9.050E-01	22.2%
	soybeans, at farm #4: SS_SC	ARG	kg	8.39E+00 MJ/kg	1.000E+00	4.530E-01	11.1%
32024	soybeans, at farm (average)	ARG	kg		1.000E+00	4.068E+00	100.0%

9.1. F. Soybeans oil, at oil mill, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND			
					CO2 credit	ecoinvent		

soybean oil, at oil mill: SOLVENT EXTRACTION

General parameters							
oil yield			1.82E-01	kg/kg	38%		
meal yield			7.58E-01	kg/kg	62%		
price of oil			0.521	$/kg			
price of meal			0.205	$/kg			
Process characterization							
		soybean meal, at oil mill	ARG	kg		4.16E+00		
		soybeans, at farm (average)	ARG	kg	4.07E+00 MJ/kg	2.08E+00	8.462E+00	71.5%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 4	2327	electricity, medium voltage, production PT, at grid	PT	kWh	8.32E+00 MJ/kWh	1.63E-02	1.356E-01	1.1%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 1	2560	natural gas, burned in industrial furnace >100kW	RER	MJ	1.19E+00 MJ/MJ	8.31E-01	9.921E-01	8.4%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	5.00E-01	1.855E+00	15.7%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1841	transport, freight, rail	RER	tkm	7.11E-01 MJ/tkm	1.25E-01	8.872E-02	0.7%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 5	6430	oil mill	CH	unit	5.35E+07 MJ/unit	3.45E-10	1.846E-02	0.2%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	679	tap water, at user	RER	kg	5.54E-03 MJ/kg	1.78E-01	9.879E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 1	6317	hexane, at plant	RER	kg	6.10E+01 MJ/kg	4.45E-03	2.714E-01	2.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 6	3411	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant	RER	kg	2.01E+01 MJ/kg	3.40E-04	6.849E-03	0.1%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	1750	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	5.59E+00 MJ/m3	1.87E-04	1.044E-03	0.0%
		soybean oil, at oil mill: SOLVENT EXTRACTION	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**1.183E+01**	100.0%

9.1. G. Soybean methy-ester, at esterification plant, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND		
					CO2 credit	ecoinvent	

soybean methy-ester, at esterification plant, export

General parameters								
Methyl-ester yield			9.73E-01	kg/kg	99%			
Glicerine yield			1.06E-01	kg/kg	1%			
price of methyl-ester			0.833	$/kg				
price of glicerine			0.100	$/kg				
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 1	32038	glycerine, from soybean oil, at esterification plant	BR	kg	MJ/kg	1.08E-01	0.000E+00	0.0%
		soybeans oil, at oil mill, export	ARG	kg	1.183E+01 MJ/kg	1.015E+00	1.201E+01	66.3%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 1	1775	methanol, at plant	GLO	kg	3.74E+01 MJ/kg	1.121E-01	4.194E+00	23.1%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 4	2327	electricity, medium voltage, production PT, at grid	PT	kWh	8.32E+00 MJ/kWh	4.175E-02	3.475E-01	1.9%
[EI_DATA_LCI_3.xls]Sheet 1	2691	heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW	RER	MJ	1.30E+00 MJ/MJ	1.158E-01	1.500E-01	0.8%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 4	4089	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW	RER	MJ	1.35E+00 MJ/MJ	4.924E-02	6.627E-02	0.4%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 1	2707	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	RER	MJ	1.25E+00 MJ/MJ	7.468E-01	9.359E-01	5.2%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	3.197E-02	1.186E-01	0.7%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	679	tap water, at user	RER	kg	5.54E-03 MJ/kg	2.697E-02	1.493E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 5	1216	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	kg	1.64E+01 MJ/kg	4.543E-03	7.432E-02	0.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 6	3411	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant	RER	kg	2.01E+01 MJ/kg	1.121E-02	2.257E-01	1.2%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	1750	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	5.59E+00 MJ/m3	6.172E-05	3.450E-04	0.0%
		soybean methy-ester, at esterification plant, export	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**1.812E+01**	100.0%

9.1. H. Soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit Impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria: CUMULATIVE ENERGY DEMAND			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH								
Process characterization								
		soybean methy-ester, at esterification plant, export	ARG	kg	1.812E+01 MJ/kg	1.000E+00	1.812E+01	85.9%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 4	2327	electricity, medium voltage, production PT, at grid	PT	kWh	8.32E+00 MJ/kWh	6.700E-03	5.577E-02	0.3%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 4	1495	light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating	CH	MJ	1.30E+00 MJ/MJ	6.210E-04	8.104E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 6	1673	regional distribution, oil products	RER	unit	6.91E+07 MJ/unit	2.621E-10	1.811E-02	0.1%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	1.501E-01	5.567E-01	2.6%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	3.71E+00 MJ/tkm	1.000E-01	3.710E-01	1.8%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1793	transport, barge tanker	RER	tkm	5.94E-01 MJ/tkm	8.404E-01	4.993E-01	2.4%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1843	transport, transoceanic tanker	OCE	tkm	8.89E-02 MJ/tkm	1.209E+01	1.075E+00	5.1%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1841	transport, freight, rail	RER	tkm	7.11E-01 MJ/tkm	5.003E-01	3.556E-01	1.7%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1842	transport, freight, rail	CH	tkm	2.98E-01 MJ/tkm	1.001E-01	2.984E-02	0.1%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 5	1428	disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration	CH	kg	3.05E+01 MJ/kg	1.680E-04	5.120E-03	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 1	1434	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	kg	4.03E-01 MJ/kg	6.270E-06	2.524E-06	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	4084	treatment, rainwater mineral oil storage, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	3.15E+00 MJ/m3	7.500E-05	2.361E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	1739	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	4.67E+00 MJ/m3	6.890E-07	3.220E-06	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	678	tap water, at user	CH	kg	4.58E-03 MJ/kg	6.890E-04	3.158E-06	0.0%
		soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH	**CH**	**kg**		**1.000E+00**	**2.109E+01**	100.0%

9.2. A. Soybeans, at farm, SP_SD, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #1: SP_SD								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1862	monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse	RER	kg	2.79E+00 kg CO2/kg	7.150E-04	1.998E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1863	monoammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	1.59E+00 kg CO2/kg	3.098E-03	4.920E-03	0.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1993	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	2.01E+00 kg CO2/kg	1.145E-03	2.300E-03	0.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	1.05E+00 kg CO2/kg	2.491E-02	2.605E-02	4.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	6.273E-07	1.314E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1881	benzoic-compounds, at regional storehouse	RER	kg	5.76E+00 kg CO2/kg	2.509E-06	1.445E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	1.220E-06	2.555E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1896	diphenylether-compounds, at regional storehouse	RER	kg	1.79E+01 kg CO2/kg	5.881E-07	1.051E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	2005	cyclic N-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.73E+00 kg CO2/kg	5.881E-07	2.781E-06	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	1.594E-05	3.341E-04	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.27E+00 kg CO2/kg	2.040E-04	1.483E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1881	benzoic-compounds, at regional storehouse	RER	kg	5.76E+00 kg CO2/kg	3.086E-05	1.777E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	1.50E+01 kg CO2/kg	3.077E-04	4.630E-03	0.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	1.50E+01 kg CO2/kg	6.021E-04	9.060E-03	1.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	1.50E+01 kg CO2/kg	6.498E-05	9.779E-04	0.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1855	2,4-D, at regional storehouse	RER	kg	3.08E+00 kg CO2/kg	1.346E-04	4.140E-04	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1853	[sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse	RER	kg	8.77E+00 kg CO2/kg	1.348E-06	1.182E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	2.19E+01 kg CO2/ha	4.003E-04	8.780E-03	1.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.06E+01 kg CO2/ha	7.721E-04	8.157E-03	1.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	2.48E+01 kg CO2/ha	8.127E-05	2.016E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	1.52E+02 kg CO2/ha	7.784E-04	1.185E-01	20.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	2.98E-01 kg CO2/tkm	3.094E-02	9.210E-03	1.6%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	9.370E-03	2.088E-03	0.4%
	113	Dinitrogen monoxide, air, low population density		kg	2.96E+02 kg CO2/kg	6.825E-04	2.020E-01	34.3%
	74	Carbon dioxide, land transformation, air, low population density		kg	1.00E+00 kg CO2/kg	1.850E-01	1.850E-01	31.5%
		soybeans, at farm #1: SP_SD	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**5.882E-01**	100.0%

9.2. B. Soybeans, at farm, SP_SC, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #2: SP_SC								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	1.05E+00 kg CO2/kg	2.745E-02	2.871E-02	4.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	1.159E-05	2.429E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1881	benzoic-compounds, at regional storehouse	RER	kg	5.76E+00 kg CO2/kg	5.455E-05	3.141E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	2.560E-06	5.363E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.27E+00 kg CO2/kg	1.720E-05	1.250E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	1.50E+01 kg CO2/kg	2.649E-04	3.986E-03	0.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1909	glyphosate, at regional storehouse	RER	kg	1.50E+01 kg CO2/kg	3.437E-04	5.172E-03	0.7%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1879	benzimidazole-compounds, at regional storehouse	RER	kg	1.26E+01 kg CO2/kg	4.188E-06	5.265E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.06E+01 kg CO2/ha	3.332E-04	3.520E-03	0.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1984	tillage, ploughing	CH	ha	1.17E+02 kg CO2/ha	8.885E-04	1.037E-01	14.7%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1981	tillage, harrowing, by spring tine harrow	CH	ha	2.40E+01 kg CO2/ha	2.221E-04	5.330E-03	0.8%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	2.19E+01 kg CO2/ha	4.443E-04	9.745E-03	1.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	2.48E+01 kg CO2/ha	1.777E-04	4.408E-03	0.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1983	tillage, cultivating, chiselling	CH	ha	7.02E+01 kg CO2/ha	3.199E-04	2.244E-02	3.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	1.52E+02 kg CO2/ha	2.059E-03	3.133E-01	44.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	2.98E-01 kg CO2/tkm	3.084E-02	9.183E-03	1.3%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	8.445E-03	1.882E-03	0.3%
	113	Dinitrogen monoxide, air, low population density		kg	2.96E+02 kg CO2/kg	6.600E-04	1.954E-01	27.6%
		soybeans, at farm #2: SP_SC	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**7.075E-01**	100.0%

9.2. C. Soybeans, at farm, SS_SD, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #3: SS_SD								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1993	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	2.01E+00 kg CO2/kg	1.095E-02	2.200E-02	5.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	1.05E+00 kg CO2/kg	3.810E-02	3.985E-02	10.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	1.786E-05	3.741E-04	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.27E+00 kg CO2/kg	3.200E-04	2.326E-03	0.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	1.667E-05	3.492E-04	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.27E+00 kg CO2/kg	1.667E-04	1.211E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	2005	cyclic N-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.73E+00 kg CO2/kg	2.514E-04	1.189E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1856	acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.79E+00 kg CO2/kg	1.071E-03	8.344E-03	2.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	2.19E+01 kg CO2/ha	7.200E-04	1.579E-02	4.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.06E+01 kg CO2/ha	9.600E-04	1.014E-02	2.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	2.48E+01 kg CO2/ha	2.256E-04	5.596E-03	1.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	1.52E+02 kg CO2/ha	4.947E-04	7.529E-02	19.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	2.98E-01 kg CO2/tkm	3.153E-02	9.386E-03	2.4%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	1.527E-02	3.403E-03	0.9%
	113	Dinitrogen monoxide, air, low population density		kg	2.96E+02 kg CO2/kg	6.600E-04	1.954E-01	50.0%
		soybeans, at farm #3: SS_SD	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**3.906E-01**	100.0%

9.2. D. Soybeans, at farm, SS_SC, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybeans, at farm #4: SS_SC								
Process characterization								
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1993	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	kg	2.01E+00 kg CO2/kg	1.314E-02	2.640E-02	3.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	3656	pea seed IP, at regional storehouse	CH	kg	1.05E+00 kg CO2/kg	4.000E-02	4.184E-02	5.7%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	2.143E-05	4.490E-04	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.27E+00 kg CO2/kg	3.840E-04	2.791E-03	0.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1968	pyretroid-compounds, at regional storehouse	RER	kg	2.10E+01 kg CO2/kg	2.000E-05	4.190E-04	0.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1957	organophosphorus-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.27E+00 kg CO2/kg	2.000E-04	1.454E-03	0.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	2005	cyclic N-compounds, at regional storehouse	RER	kg	4.73E+00 kg CO2/kg	3.017E-04	1.427E-03	0.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 1	1856	acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse	RER	kg	7.79E+00 kg CO2/kg	1.286E-03	1.001E-02	1.4%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1867	application of plant protection products, by field sprayer	CH	ha	1.06E+01 kg CO2/ha	1.295E-03	1.368E-02	1.9%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1984	tillage, ploughing	CH	ha	1.17E+02 kg CO2/ha	1.295E-03	1.511E-01	20.5%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1981	tillage, harrowing, by spring tine harrow	CH	ha	2.40E+01 kg CO2/ha	6.474E-04	1.553E-02	2.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1976	sowing	CH	ha	2.19E+01 kg CO2/ha	9.711E-04	2.130E-02	2.9%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1902	fertilising, by broadcaster	CH	ha	2.48E+01 kg CO2/ha	6.085E-04	1.509E-02	2.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1983	tillage, cultivating, chiselling	CH	ha	7.02E+01 kg CO2/ha	3.237E-04	2.271E-02	3.1%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 2	1900	combine harvesting	CH	ha	1.52E+02 kg CO2/ha	1.334E-03	2.031E-01	27.6%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 3	1990	transport, tractor and trailer	CH	tkm	2.98E-01 kg CO2/tkm	3.166E-02	9.426E-03	1.3%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	1.661E-02	3.701E-03	0.5%
	113	Dinitrogen monoxide, air, low population density		kg	2.96E+02 kg CO2/kg	6.600E-04	1.954E-01	26.6%
		soybeans, at farm #4: SS_SC	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**7.358E-01**	100.0%

9.2. E. Soybeans, at farm, ARG (average).

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		

soybeans, at farm (average)

General parameters

Sistema	%
SP_SD	49.28
SP_SC	14.72
SS_SD	30.6
SS_SC	5.4

Process characterization

	soybeans, at farm #1: SP_SD	ARG	kg	5.88E-01 kg CO2/kg	1.000E+00	2.899E-01	52.4%
	soybeans, at farm #2: SP_SC	ARG	kg	7.07E-01 kg CO2/kg	1.000E+00	1.041E-01	18.8%
	soybeans, at farm #3: SS_SD	ARG	kg	3.91E-01 kg CO2/kg	1.000E+00	1.195E-01	21.6%
	soybeans, at farm #4: SS_SC	ARG	kg	7.36E-01 kg CO2/kg	1.000E+00	3.973E-02	7.2%
32024	soybeans, at farm (average)	ARG	kg		1.000E+00	5.533E-01	100.0%

9.2. F. Soybeans oil, at oil mill, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		

soybean oil, at oil mill: SOLVENT EXTRACTION

General parameters

oil yield	1.82E-01	kg/kg	38%
meal yield	7.58E-01	kg/kg	62%
price of oil	0.521	$/kg	
price of meal	0.205	$/kg	

Process characterization

		soybean meal, at oil mill	ARG	kg		4.16E+00		
		soybeans, at farm (average)	ARG	kg	5.53E-01 kg CO2/kg	2.08E+00	1.151E+00	85.9%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 4	2327	electricity, medium voltage, production PT, at grid	PT	kWh	6.29E-01 kg CO2/kWh	1.63E-02	1.025E-02	0.8%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 1	2560	natural gas, burned in industrial furnace >100kW	RER	MJ	6.78E-02 kg CO2/MJ	8.31E-01	5.635E-02	4.2%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	5.00E-01	1.114E-01	8.3%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1841	transport, freight, rail	RER	tkm	3.72E-02 kg CO2/tkm	1.25E-01	4.638E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 5	6430	oil mill	CH	unit	3.44E+06 kg CO2/unit	3.45E-10	1.185E-03	0.1%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	679	tap water, at user	RER	kg	2.96E-04 kg CO2/kg	1.78E-01	5.276E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 1	6317	hexane, at plant	RER	kg	8.80E-01 kg CO2/kg	4.45E-03	3.920E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 6	3411	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant	RER	kg	1.39E+00 kg CO2/kg	3.40E-04	4.715E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	1750	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	4.26E-01 kg CO2/m3	1.87E-04	7.957E-05	0.0%
		soybean oil, at oil mill: SOLVENT EXTRACTION	**ARG**	**kg**		**1.000E+00**	**1.339E+00**	100.0%

9.2. G. Soybean methy-ester, at esterification plant, ARG.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact		Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)				
					CO2 credit		ecoinvent		

soybean methy-ester, at esterification plant, export

General parameters				
Methyl-ester yield	9.73E-01	kg/kg	99%	
Glicerine yield	1.06E-01	kg/kg	1%	
price of methyl-ester	0.833	$/kg		
price of glicerine	0.100	$/kg		

Process characterization									
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 1	32038	glycerine, from soybean oil, at esterification plant	BR	kg		kg CO2/kg	1.08E-01	0.000E+00	0.0%
		soybeans oil, at oil mill, export	ARG	kg	1.339E+00	kg CO2/kg	1.015E+00	1.359E+00	86.8%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 1	1775	methanol, at plant	GLO	kg	7.30E-01	kg CO2/kg	1.121E-01	8.188E-02	5.2%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 4	2327	electricity, medium voltage, production PT, at grid	PT	kWh	6.29E-01	kg CO2/kWh	4.175E-02	2.627E-02	1.7%
[EI_DATA_LCI_3.xls]Sheet 1	2691	heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW	RER	MJ	1.30E-01	kg CO2/MJ	1.158E-01	1.508E-02	1.0%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 4	4089	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW	RER	MJ	9.07E-02	kg CO2/MJ	4.924E-02	4.464E-03	0.3%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 1	2707	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW	RER	MJ	7.12E-02	kg CO2/MJ	7.468E-01	5.316E-02	3.4%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01	kg CO2/tkm	3.197E-02	7.125E-03	0.5%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	679	tap water, at user	RER	kg	2.96E-04	kg CO2/kg	2.697E-02	7.973E-06	0.0%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 5	1216	hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant	RER	kg	7.87E-01	kg CO2/kg	4.543E-03	3.576E-03	0.2%
[EI_DATA_LCI_1.xls]Sheet 6	3411	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant	RER	kg	1.39E+00	kg CO2/kg	1.121E-02	1.553E-02	1.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	1750	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	4.26E-01	kg CO2/m3	6.172E-05	2.628E-05	0.0%
		soybean methy-ester, at esterification plant, export	**ARG**	**kg**			**1.000E+00**	**1.566E+00**	100.0%

9.2. H. Soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH.

Process stages	Ref.	Intrant	Country	Unit	Unit impact	Unit dosis	Impact	
Allocation method					Impact criteria : GLOBAL WARMING (IPCC)			
					CO2 credit	ecoinvent		
soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH								
Process characterization								
		soybean methy-ester, at esterification plant, export	ARG	kg	1.566E+00 kg CO2/kg	1.000E+00	1.566E+00	89.5%
[EI_DATA_LCI_2.xls]Sheet 4	2327	electricity, medium voltage, production PT, at grid	PT	kWh	6.29E-01 kg CO2/kWh	6.700E-03	4.216E-03	0.2%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 4	1495	light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating	CH	MJ	8.84E-02 kg CO2/MJ	6.210E-04	5.487E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_4.xls]Sheet 6	1673	regional distribution, oil products	RER	unit	4.55E+06 kg CO2/unit	2.621E-10	1.193E-03	0.1%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	1.501E-01	3.344E-02	1.9%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 3	1845	transport, lorry 28t	CH	tkm	2.23E-01 kg CO2/tkm	1.000E-01	2.229E-02	1.3%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1793	transport, barge tanker	RER	tkm	4.24E-02 kg CO2/tkm	8.404E-01	3.562E-02	2.0%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1843	transport, transoceanic tanker	OCE	tkm	5.52E-03 kg CO2/tkm	1.209E+01	6.678E-02	3.8%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1841	transport, freight, rail	RER	tkm	3.72E-02 kg CO2/tkm	5.003E-01	1.859E-02	1.1%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 4	1842	transport, freight, rail	CH	tkm	1.38E-02 kg CO2/tkm	1.001E-01	1.378E-03	0.1%
[EI_DATA_LCI_5.xls]Sheet 5	1428	disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration	CH	kg	2.10E+00 kg CO2/kg	1.680E-04	3.536E-04	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 1	1434	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	kg	5.17E-01 kg CO2/kg	6.270E-06	3.244E-06	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	4084	treatment, rainwater mineral oil storage, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	3.56E-01 kg CO2/m3	7.500E-05	2.671E-05	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	1739	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2	CH	m3	3.61E-01 kg CO2/m3	6.890E-07	2.485E-07	0.0%
[EI_DATA_LCI_6.xls]Sheet 2	678	tap water, at user	CH	kg	1.61E-04 kg CO2/kg	6.890E-04	1.108E-07	0.0%
		soybean methyl-ester, production ARG, at service station CH	**CH**	**kg**		**1.000E+00**	**1.750E+00**	100.0%

EGFA
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
Escuela para Graduados *Alberto Soriano*

- En la ciudad de Buenos Aires, a los 26 días del mes de diciembre de dos mil seis, se reúne el Jurado designado por la Escuela para Graduados *Alberto Soriano* de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. El mismo está integrado por la Ing. Agr. María de la Paz Jiménez y la Lic. Ana María Ferrazzino de Brignone y el Ing. Luis A. Trama (este último en carácter de tutor) y su finalidad es examinar el Trabajo Final del candidato al grado de Especialista en Gestión Ambiental en sistemas agroalimentarios de la Universidad de Buenos Aires, Ing. Amb. Luis Panichelli sobre el tema " Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la producción de biodiesel (B100) en Argentina".

El Jurado, sobre la base de la calidad del informe escrito, la calidad de la presentación oral, y el dominio demostrado del tema ante las preguntas del jurado, emite el siguiente dictamen y calificación

El Ing. Amb. Luis Panichelli presentó el informe escrito en forma correcta, la introducción aportó el marco teórico para los objetivos del trabajo, los cuales fueron enunciados claramente y con precisión en la definición de meta y alcance.

La metodología fue adecuada y los resultados fueron congruentes con los objetivos planteados.

Las citas bibliográficas son suficientes y actualizadas.

Del presente trabajo se desprende la importancia asignada en el mundo desarrollado a este tipo de estudios como una herramienta fundamental para la toma de decisiones técnico-político-económicas para la producción/importación de biocombustibles. Se destacó la importancia de la calidad de datos primarios, parte esencial de este tipo de investigaciones.

La presentación oral fue ordenada y respondió correctamente a las cuestiones planteadas por el jurado. Hizo un uso correcto de las herramientas audiovisuales y el léxico utilizado fue preciso.

Demostró amplia solvencia y entusiasmo en el tema de investigación.

De lo expuesto resulta la siguiente calificación: sobresaliente 10 (diez).

El jurado recomienda, dado lo innovativo del tema, que la Facultad facilite la publicación y/o difusión del mismo a través de sus canales disponibles.

María de la Paz Jiménez | Ana María Ferrazzino | Luis Trama

Tel.Fax (+54) 11- 4524-8065/8004 - e-mail: epg@agro.uba.ar
http://www.agro.uba.ar/epg/
Dirección postal: Escuela para Graduados *Alberto Soriano*
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires
Av. San Martín 4453 (C1417DSE) Capital Federal - Argentina