

Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte

Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo del Biodiésel y del Diésel

Energía y Cambio Climático



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

MINISTERIO
DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Análisis de Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte

Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo
del Biodiésel y del Diésel

Energía y Cambio Climático



2006

Yolanda Lechón
Helena Cabal
Cristina de la Rúa
Carmen Lago
Lucila Izquierdo
Rosa Mª Sáez
Montserrat F. San Miguel

CIEMAT/ASE/05-E0221/2

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://publicaciones.administracion.es>

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Medio Ambiente. ©

I.S.B.N.: 84-8320-376-6
NIPO MMA: 310-06-125-0 NIPO MEC: 654-06-036-3
Depósito legal: M. 52.137-2006

Imprime: Fareso, S. A.
Impreso en papel reciclado al 100% totalmente libre de cloro

Presentación:

La gran política de las pequeñas cosas

La política pública no consiste sólo en tomar algunas decisiones, más o menos vistosas, que ocupan titulares de prensa y de informativos durante unas horas, o incluso unos días. Por debajo de esto, una parte muy importante de la actividad política consiste en un trabajo sostenido, constante, poco llamativo, para impulsar un trabajo en el que al principio poca gente cree. Es un proceso callado, que en muchas ocasiones hay que proseguir durante años.

Pocos discuten que el modelo energético de las sociedades desarrolladas no es sostenible. La dependencia de los combustibles fósiles, nuestra gran debilidad, se analiza desde todos los enfoques posibles. Ocupa ríos de tinta cuando una crisis geopolítica, o un huracán, ponen en cuestión el suministro de petróleo, o cuando los precios suben por estos motivos o por el incremento de la demanda en las grandes economías emergentes. Las cifras de emisiones a la atmósfera también reciben una atención preferente, cada pocos meses, en el contexto de cuestiones que preocupan especialmente a la opinión pública como el cambio climático o la calidad del aire.

Todos los focos se dirigen hacia nuestra dependencia de los combustibles fósiles, pero a menudo no se conocen suficientemente los esfuerzos que se realizan para cambiar de modelo. Y si el modelo no es sostenible, la prioridad debe situarse precisamente en las iniciativas para poner en pie uno alternativo. Por lo que sabemos, este modelo es múltiple, no depende sólo de elegir otro combustible, más seguro o menos contaminante.

Un nuevo modelo energético sostenible debe tener mucho que ver con la eliminación de consumos irracionales, con el ahorro energético, con nuevas tecnologías de transporte, con pautas de consumo y de vida distintas, con la utilización de combustibles alternativos. Poner en pie ese nuevo modelo implica transformar nuestras sociedades, y es de eso de lo que trata la política.

El libro que hoy presento supone un paso en este recorrido. Puede parecer un paso menor un análisis de los resultados de la utilización de diferentes semillas oleaginosas para la fabricación de biodiesel y su comparación con el diesel. Pero poner en pie el modelo energético alternativo requiere cuantificar cada forma de producir (y consumir) energía, especialmente en lo que supone de ahorro de energía fósil y la disminución de emisiones de CO₂ en comparación con la utilización de carburantes tradicionales.

En este nuevo estudio, impulsado por el MMA y realizado por el CIEMAT, se ha utilizado la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para analizar los procesos de producción, distribución y uso en España de biodiesel de semillas oleaginosas, biodiesel de aceites usados y diesel, y se han cuantificado sus impactos en el cambio climático y en el consumo de energía a lo largo de todo el proceso.

Del estudio también se han obtenido la identificación de las áreas de mejora, es decir, las etapas clave en los procesos productivos en las que la introducción de mejoras redundará en una optimización, tanto de los balances energéticos, como de la reducción de emisiones.

Y lo que parece una cuestión menor, puramente técnica, aparece como un elemento importante de políticas relacionadas con el cambio climático que se pretenden aplicar al sector del

transporte en España. El fomento del uso de biocarburantes mediante la aplicación del Real Decreto 61/2006, que transpone la Directiva 2003/30/EC por la que se establece un objetivo indicativo de penetración de estos combustibles en el transporte del 5,75% para 2010, es además un elemento importante de la política energética del Gobierno, por contribuir a reducir la dependencia exterior de nuestro país.

Los resultados del estudio demuestran, con cifras concretas, que ésta es una política apropiada en el sector del transporte y que, junto a otras medidas recogidas en el Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia en España, puede contribuir de manera eficaz a alcanzar nuestros objetivos de Kioto.

Arturo Gonzalo Aizpiri
Secretario General para la Prevención
de la Contaminación y el Cambio Climático
Ministerio de Medio Ambiente

Índice

SECCIÓN I. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).		9
1	INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO.....	9
2	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	10
3	ALCANCE DEL ESTUDIO	12
3.1	Funciones de los sistemas estudiados.....	12
3.2	Unidad funcional.....	12
3.3	Sistemas estudiados.....	12
3.4	Límites de los sistemas.....	13
3.5	Descripción de los productos estudiados y cuantificación de la unidad funcional.....	15
3.6	Vinculación de los datos con la unidad funcional.....	16
3.7	Balances energéticos. Cálculo de la energía primaria	17
4	DATOS NECESARIOS. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MISMOS.	18
5	HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILIZADA.	19
5.1	La Base de Datos	20
5.2	Los indicadores de calidad de los datos.....	20
5.3	El inventario de ciclo de vida.....	20
5.4	La evaluación de impacto.....	20
6	REVISION CRÍTICA.....	20
SECCIÓN II. ANÁLISIS DE INVENTARIO		23
1	ANÁLISIS DE INVENTARIO DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA.	23
1.1	Principales hipótesis y limitaciones	23
1.2	Descripción cualitativa y cuantitativa del proceso de cultivo de girasol y colza nacional	26
1.3	Procedimientos de cálculo.....	28
1.4	Reglas de asignación	30
1.5	Balance energético.	32
2	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE LAS SEMILLAS HASTA LA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE.....	35
2.1	Fuentes de datos.....	35
2.2	Descripción cualitativa del proceso de transporte de las semillas hasta la planta de extracción de aceite	35
2.3	Descripción cuantitativa del proceso de transporte de las semillas hasta la planta de extracción de aceite	35
2.4	Procedimientos de cálculo.....	35
2.5	Balance energético	35
3	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE.....	36
3.1	Fuentes de datos.....	36
3.2	Descripción cualitativa del proceso de extracción de aceite de girasol, soja y colza	36
3.3	Descripción cualitativa del proceso de extracción de aceite de palma.....	39

3.4	Descripción cuantitativa del proceso de obtención de aceite de girasol, soja, colza y palma.....	40
3.5	Procedimiento de cálculo en los procesos de extracción de aceite de girasol, de soja y de colza.....	43
3.6	Procedimiento de cálculo en los procesos de extracción de aceite de palma	44
3.7	Reglas de asignación	45
3.8	Balance energético	47
4	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE ACEITES VEGETALES CRUDOS	48
4.1	Fuentes de datos.....	48
4.2	Descripción cualitativa del proceso de transporte de aceites vegetales crudos hasta la planta de producción de biodiésel.....	48
4.3	Descripción cuantitativa del proceso de transporte de aceites vegetales crudos hasta la planta de producción de biodiésel.....	49
4.4	Procedimientos de cálculo.....	49
4.5	Balance energético	49
5	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL DE ACEITES VEGETALES CRUDOS	49
5.1	Fuentes de datos.....	49
5.2	Descripción cualitativa del proceso de producción de biodiésel	50
5.3	Descripción cuantitativa del proceso de producción de biodiésel.....	51
5.4	Procedimientos de cálculo.....	52
5.5	Reglas de asignación	54
5.6	Balance energético	57
6	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE ACEITES VEGETALES USADOS	58
6.1	Fuentes de datos.....	58
6.2	Descripción cualitativa del proceso de recogida y tratamiento de aceites vegetales usados	58
6.3	Descripción cuantitativa del proceso de recogida y tratamiento de aceites vegetales usados. Procedimientos de cálculo.....	60
6.4	Reglas de asignación	62
7	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE ACEITES VEGETALES USADOS HASTA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL	64
7.1	Fuentes de datos.....	64
7.2	Descripción cualitativa del proceso de transporte de aceites vegetales usados hasta la planta de producción de biodiésel.....	64
7.3	Descripción cuantitativa del proceso de transporte de aceites vegetales..... usados hasta la planta de producción de biodiésel	64
7.4	Procedimientos de cálculo.....	64
7.5	Balance energético	64
8	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL DE ACEITES VEGETALES USADOS	65
8.1	Fuentes de datos.....	65
8.2	Descripción cualitativa del proceso	65
8.3	Descripción cuantitativa del proceso.....	66
8.4	Procedimiento de cálculo.....	67
8.5	Reglas de asignación	68
8.6	Balance energético	69

9	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE DEL CRUDO	70
9.1	Principales hipótesis y limitaciones	70
9.2	Descripción cuantitativa y cualitativa del proceso	71
9.3	Procedimientos de cálculo.....	73
9.4	Reglas de asignación	76
9.5	Balance energético	78
10	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE REFINO DEL CRUDO	79
10.1	Principales hipótesis y limitaciones	79
10.2	Descripción cuantitativa y cualitativa del proceso	79
10.3	Procedimientos de cálculo.....	80
10.4	Reglas de asignación	81
10.5	Balance energético	82
11	ANÁLISIS DE INVENTARIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MEZCLAS.....	83
11.1	Principales hipótesis y limitaciones	83
11.2	Descripción cuantitativa y cualitativa del proceso	83
11.3	Procedimientos de cálculo.....	84
11.4	Balance energético	85
12	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL USO FINAL DE LOS COMBUSTIBLES ESTUDIADOS	85
12.1	Principales hipótesis y limitaciones	85
12.2	Descripción cualitativa y cuantitativa del proceso	86
SECCIÓN III. RESULTADOS		89
1	INTRODUCCIÓN	89
2	BALANCES ENERGÉTICOS.....	89
2.1	Energía primaria total	89
2.2	Energía fósil	90
2.3	Consumo de energía primaria y fósil del ciclo de vida de los aceites vegetales usados en la producción de biodiésel.....	93
2.4	Ratio de energía fósil de la producción de biodiésel y diésel EN-590.....	94
2.5	Eficiencias energéticas de la producción y distribución de las mezclas estudiadas	95
3	CAMBIO CLIMÁTICO.....	96
3.1	Emissiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de los aceites vegetales utilizados en la producción de biodiésel	96
3.2	Emissiones de gases de efecto invernadero de la producción y distribución de las mezclas estudiadas	96
SECCION IV. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD		101
1	DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS ANALIZADOS	101
2	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	102
2.1	Origen de la semilla de colza	102
2.2	Consumo energético del proceso de extracción de aceite.....	104
2.3	Origen de los aceites para producción de biodiésel de aceites vegetales crudos.	105
2.4	Reglas de asignación entre los distintos co-productos.....	109
2.5	Saturación del mercado de glicerina.....	110
2.6	Resumen de resultados del análisis de sensibilidad	114

SECCIÓN V. ÁREAS DE MEJORA	119
1 CONSUMOS ENERGÉTICOS	119
2 CAMBIO CLIMÁTICO	120
SECCIÓN VI. CONCLUSIONES	123
1 BALANCES ENERGÉTICOS.....	123
2 CAMBIO CLIMÁTICO	123
3 CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD REALIZADOS	124
4 CONCLUSIONES SOBRE LAS ÁREAS DE MEJORA IDENTIFICADAS	125
SECCIÓN VII. REFERENCIAS	127
SECCIÓN VIII. ANEJOS.....	135
ANEJO I. ASIGNACIÓN MARGINAL EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES.....	137

SECCIÓN I. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).

1 INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

El transporte de personas y mercancías es una necesidad social que caracteriza el desarrollo humano y el crecimiento económico de un país, siendo un símbolo de progreso en las sociedades desarrolladas. Así, el sector del transporte en los países desarrollados ha alcanzado unos volúmenes de actividad tales que sus problemas ambientales cada vez son más patentes.

Dos son las características que definen al sector y determinan sus problemas ambientales asociados: la dependencia casi total de las importaciones de petróleo y la baja eficiencia energética. Como consecuencia de esto, el sector del transporte es un gran emisor de gases de efecto invernadero, uno de los principales problemas ambientales de nuestro país en la actualidad. Así, el sector del transporte en España origina un tercio de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, y estas emisiones crecen a un ritmo muy superior al del resto de sectores.

Uno de los principales retos ambientales a los que se enfrenta España actualmente es el compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asumido con la ratificación del protocolo de Kyoto. El sector del transporte no está incluido en la Directiva Europea de Comercio de Emisiones por lo que la reducción de las mismas se habrá de llevar a cabo mediante actuaciones directas en el sector, sin la ayuda de otros mecanismos previstos en esta directiva.

Estas actuaciones han de ir encaminadas a reducir la dependencia del petróleo, fomentando otras fuentes alternativas, y a aumentar la eficiencia energética, empleando una cantidad menor de energía para un mismo nivel de servicio de transporte.

La introducción de biocombustibles en el sector del transporte es una de las medidas propuestas para avanzar en la consecución de los objetivos anteriores. Los biocombustibles son una fuente de energía autóctona, técnicamente viable, y que tiene el potencial de reducir sustancialmente las emisiones de CO₂.

La publicación de la directiva 2003/30/EC del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la promoción del uso de los biocombustibles en el transporte ha suscitado un debate importante sobre los beneficios ambientales reales de los diferentes combustibles alternativos a los combustibles fósiles actualmente utilizados en el transporte.

La propia directiva reconoce en sus considerandos que el incremento del uso de los biocombustibles debería ir acompañado de un análisis detallado de su impacto medioambiental, económico y social para determinar la conveniencia de este incremento frente a los combustibles tradicionales.

Este impacto depende en gran medida de las condiciones particulares en las que la introducción de los biocarburantes se realice en cada país, en especial las materias primas que se usen para su

obtención, los procesos de producción a partir de estas materias primas y el uso final, bien como aditivos o bien como mezcla en mayores porcentajes, pueden determinar el balance medioambiental de la introducción de estos combustibles.

En el caso concreto del biodiésel, adquiere especial importancia la estimación de estos impactos debido a la paulatina diéselización del parque automovilístico y al incremento de transporte de mercancías por carretera, lo que hace prever un gran consumo de biodiésel en España.

Existe una amplia bibliografía sobre Análisis de Ciclo de Vida o estudios similares de combustibles alternativos para el transporte realizada tanto en Estados Unidos como en Europa. Ninguno de estos estudios se ha realizado en las condiciones actuales de introducción de los biocombustibles en España por lo que los resultados difícilmente son extrapolables a nuestras condiciones específicas.

Es necesario, por tanto, contar con un conocimiento cuantitativo fiable del comportamiento ambiental de las diferentes opciones alternativas a los combustibles tradicionales en las condiciones de introducción reales, tanto presentes como futuras, en nuestro país, para poder definir las líneas de actuación óptimas a corto, medio y largo plazo.

En este contexto, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (DGCEA) del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) ha solicitado al CIEMAT el apoyo técnico para la realización de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de combustibles alternativos para el transporte. En una primera fase se analizó el etanol de cereales en comparación con la gasolina; y en una segunda fase, se ha analizado el biodiésel en comparación con el diésel. Este documento presenta los resultados obtenidos en el ACV del biodiésel en comparación con el diésel en relación con el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La utilización de la misma metodología de Análisis de Ciclo de Vida de las diferentes opciones planteadas permitirá al final del estudio disponer de una misma base para la comparación de todas ellas.

2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El estudio de ACV ha sido solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente al CIEMAT, en acuerdo específico de colaboración entre la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (DGCEA) de dicho Ministerio y el CIEMAT.

Dentro del marco de este Análisis de Ciclo de Vida, la primera de las fases estuvo dedicada a la realización de un ACV comparativo del etanol obtenido a partir de cereales y de la gasolina de 95 octanos.

La segunda de las fases está destinada a la realización de un ACV comparativo del biodiésel obtenido a partir de aceites vegetales crudos, de aceites vegetales usados y del diésel derivado del petróleo EN-590 del año 2005. Este documento presenta los resultados de dicho ACV.

El biodiésel producido, tanto a partir de aceites vegetales crudos como de aceites vegetales usados, se usará mezclado con el diésel derivado del petróleo a una proporción de un 5% y un 10% (v/v). Además se analizará el uso del biodiésel, de ambos orígenes, puro. El horizonte temporal de este análisis es el año 2006.

El diésel EN-590 año 2005 analizado en este estudio tiene un contenido máximo de 50 ppm de S según obliga el RD 1700/2003 de 15 de diciembre. En resumen, los sistemas que se van a analizar serán:

Biodiésel de aceite vegetal crudo mezclado al 5% con diésel (BD5A1) vs. diésel EN-590 año 2005.

Biodiésel de aceite vegetal crudo mezclado al 10% con diésel (BD10A1) vs. diésel EN-590 año 2005.

Biodiésel de aceite vegetal crudo puro (BD100A1) vs. diésel EN-590 año 2005.

Biodiésel de aceite vegetal usado mezclado al 5% con diésel (BD5A2) vs. diésel EN-590 año 2005.

Biodiésel de aceite vegetal usado mezclado al 10% con diésel (BD10A2) vs. diésel EN-590 año 2005.

Biodiésel de aceite vegetal usado puro (BD100A2) vs. diésel EN-590 año 2005.

El objetivo por tanto de este estudio es:

- Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales de siete combustibles que cumplen funciones equivalentes:
 - La mezcla BD5A1 de biodiésel de aceites vegetales crudos al 5% y diésel EN-590 al 95%.
 - La mezcla BD10A1 de biodiésel de aceites vegetales crudos al 10% y diésel EN-590 al 90%.
 - El biodiésel de aceites vegetales crudos puro BD100A1.
 - La mezcla BD5A2 de biodiésel de aceites vegetales usados al 5% y diésel EN-590 al 95%.
 - La mezcla BD10A2 de biodiésel de aceites vegetales usados al 10% y diésel EN-590 al 90%
 - El biodiésel de aceites vegetales usados puro BD100A1, y
 - El diésel derivado del petróleo EN-590 año 2005, a lo largo de todo su ciclo de vida y comparar sus impactos asociados
- Identificar y evaluar las oportunidades para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida una vez detectados los impactos en cada fase del proceso
- Analizar los beneficios medioambientales de los biocombustibles analizados

El estudio de ACV se ha realizado según la metodología normalizada de Análisis de Ciclo de Vida siguiendo para ello la serie de normas internacionales UNE-EN-ISO 14040-43.

La audiencia esperada para este ACV está formada, en principio, por los responsables de la DGCEA del Ministerio de Medio Ambiente que darán a los resultados del estudio la difusión y utilización que consideren oportuna. Las partes interesadas en este estudio de ACV recibirán asimismo los resultados de este ACV ya que formarán parte del grupo de revisión crítica del mismo. Por su parte, el CIEMAT pretende publicar los resultados obtenidos en revistas científicas de difusión internacional y en congresos nacionales e internacionales.

Los resultados del ACV realizado servirán como herramienta para la toma informada de decisiones por parte del Ministerio de Medio Ambiente en relación a las distintas políticas y medidas relacionadas con la promoción de los combustibles alternativos al transporte, en concreto en este caso, el biodiésel de distintos orígenes.

3 ALCANCE DEL ESTUDIO

3.1 Funciones de los sistemas estudiados

El uso final del combustible influye en gran medida en la definición de los ciclos de vida. En nuestro caso, el énfasis en el uso del biodiésel es en el transporte de pasajeros en automóviles.

Los sistemas estudiados cumplen la función de servir de combustible para vehículos de pasajeros de forma que se pueda recorrer con ellos un mismo número de kilómetros.

3.2 Unidad funcional

La unidad funcional es una medida del comportamiento de las salidas funcionales de un sistema y su propósito es proporcionar una referencia para las entradas y salidas del mismo. Esta referencia es necesaria para asegurar que la comparación de los sistemas se hace sobre una base común. La unidad funcional seleccionada deberá estar definida y ser mensurable.

En nuestro caso la unidad funcional que se ha elegido es la siguiente:

La cantidad de combustible expresada en MJ de cada tipo de combustible que es necesaria para conducir un kilómetro en un vehículo de combustible diésel (Ford Focus 1.8 Tddi 90CV) circulando según el ciclo de conducción definido en la Directiva 98/69/CE.

3.3 Sistemas estudiados

Se han representado esquemáticamente todas las etapas principales de los sistemas estudiados que se tendrán en cuenta en el estudio de ACV a realizar.

Los sistemas estudiados en el Análisis de Ciclo de Vida son los siguientes:

- **Sistema BD5A1:** Producción y uso de biodiésel obtenido de aceites vegetales crudos, mezclado con diésel al 5% .
- **Sistema BD10A1:** Producción y uso de biodiésel obtenido de aceites vegetales crudos, mezclado con diésel al 10% .
- **Sistema BD100A1:** Producción y uso de biodiésel obtenido de aceites vegetales crudos, al 100% .
- **Sistema BD5A2:** Producción y uso de biodiésel obtenido de aceites vegetales usados con diésel mezclado al 5% .
- **Sistema BD10A2:** Producción y uso de biodiésel obtenido de aceites vegetales usados mezclado con diésel al 10% .
- **Sistema BD100A2:** Producción y uso de biodiésel obtenido de aceites vegetales usados al 100%.
- **Sistema Diésel EN-590:** Producción y uso de diésel EN-590 obtenido a partir del refino de petróleo.

El biodiésel obtenido de aceites vegetales crudos está compuesto de aceite de soja importada (40%), girasol de producción nacional (10%), palma importada (25%) y colza (25%), un 5% de producción nacional y un 95% importada. Según información recibida de ACCIONA Biocombustibles y MOYRESA, los porcentajes y orígenes de los aceites en el proceso de transformación a biodiésel son variables, dependiendo de los precios de los distintos aceites y semillas en el mercado pero una distribución representativa de la situación actual podría ser la mencionada anteriormente.

Se ha decidido realizar un ACV de la producción de biodiésel con esta distribución de aceites. Se ha realizado un análisis de sensibilidad en el que se evalúa el efecto de cambiar estos porcentajes relativos de aceites.

Estos combustibles se usarán en un vehículo diésel Ford Focus 1.80 Tddi 90CV circulando según el ciclo de conducción definido en la Directiva 98/69/CE.

El sistema de referencia considerado incluye las actividades que se llevan a cabo fuera y de forma alternativa a las actividades realizadas dentro de los límites de los sistemas estudiados.

Así este sistema de referencia incluye los procesos de producción de los productos a los que sustituyen los co-productos de nuestros sistemas. Por ejemplo, la paja producida en el cultivo de la colza se usa como alimento animal y sustituye a la producción de heno, de forma que si no se cultivara colza para la producción de biodiésel, esta paja habría de ser sustituida por heno. Asimismo se considera la demanda de oleaginosas para biodiésel, como adicional a la demanda existente y que de no cultivarse éstas las tierras estarían en retirada. La extracción de los aceites tiene como subproducto principal harinas que se usan como fuente proteica en preparados de alimentación animal. Estas harinas sustituyen a la harina de soja y evitan su producción, generando un déficit de aceite de soja que ha de ser compensado con una producción adicional de aceite de colza en el sistema de referencia. En cuanto al proceso de transesterificación, la glicerina obtenida como subproducto sustituye a la glicerina sintética de origen fósil.

En el caso de la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales usados, el sistema de referencia incluye las actividades de gestión del aceite como un residuo que sería la situación que se produciría si este aceite no se usa para producción de biodiésel. Siguiendo las reglas de asignación propuestas por Weidema (2001), el aceite usado para producción de biodiésel, co-producto del proceso de producción de aceite para consumo humano, tendría la consideración de un co-producto no completamente usado fuera del sistema, es decir parte de este aceite se consideraría como un residuo y parte tendría un uso como materia prima de producción de biodiésel. Serían, por tanto, de aplicación las reglas 1 y 3 según las cuales, se adscribirían todas las cargas de la producción de aceite de uso alimenticio al uso principal, es decir al alimenticio, y no se asignaría ninguna carga al aceite usado. Asimismo, se adscribirían a la producción de biodiésel las cargas de la recogida y tratamiento del aceite usado, pero se le restarían las cargas evitadas del tratamiento de este aceite recogido como un residuo.

3.4 Límites de los sistemas

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV, y qué cargas ambientales se estudiarán y a qué nivel de detalle.

Límites geográficos. El ACV realizado se limita al uso del diésel y el biodiésel en España. Eso sin embargo no quiere decir que todas las etapas de los ciclos de vida respectivos se limiten a este ámbito geográfico. El ciclo de vida del diésel expande este límite al incluir los procesos de extracción y transporte del crudo que se producen fuera de nuestras fronteras al ser un producto importado. El ciclo de vida del biodiésel incluye la producción de algunas oleaginosas fuera de España y su transporte hasta nuestro país.

Para las operaciones que se realizan dentro de nuestro país se han usado, en la medida de lo posible, datos nacionales y, cuando han estado disponibles, datos originales de los procesos reales. Para las operaciones realizadas fuera de nuestras fronteras se han usado datos medios de la industria o datos procedentes de estudios publicados en la literatura científica.

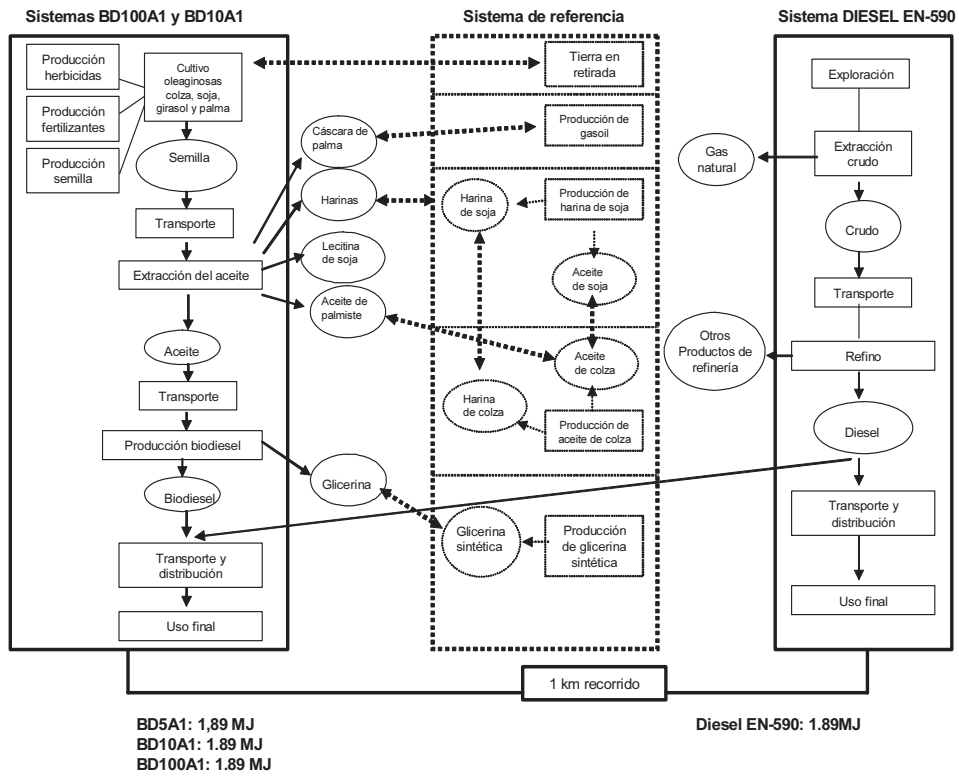


Figura 1. Esquema de los procesos implicados en los sistemas estudiados. Aceites vegetales crudos.

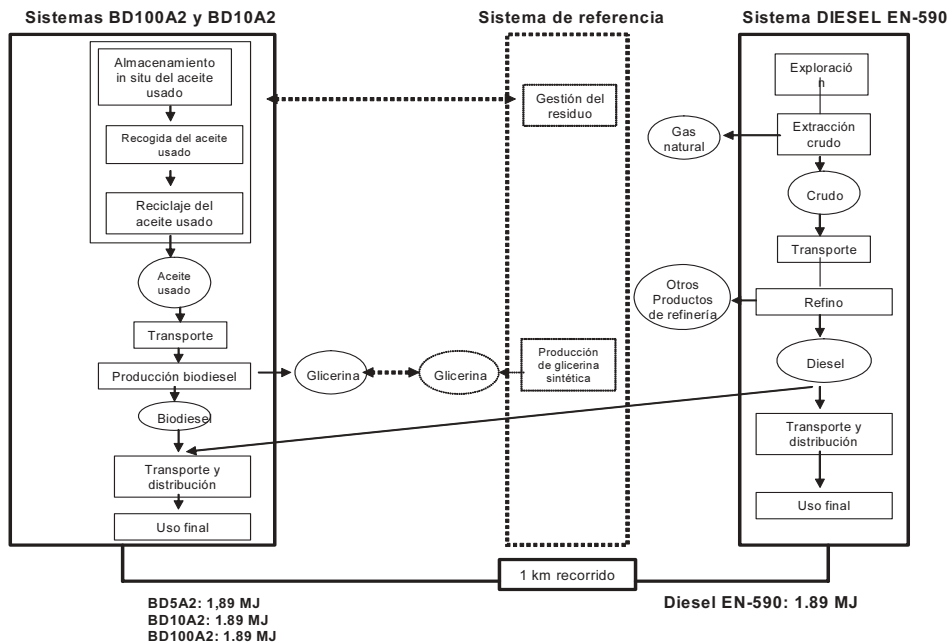


Figura 2. Esquema de los procesos implicados en los sistemas estudiados. Aceites vegetales usados.

Límites temporales. El horizonte temporal considerado es el año 2006.

Etapas excluidas del análisis. Para este estudio, las cargas ambientales relativas a la fabricación de la maquinaria e infraestructuras necesarias para la extracción, transporte y refino del crudo se han excluido del análisis porque su contribución al balance global es muy pequeña, menor del 1% (Sheehan et al, 1998, Delucchi, 1993). Análogamente, las cargas ambientales relativas a la fabricación de la maquinaria agrícola, los vehículos de transporte, y las instalaciones de la transformación de los cultivos oleaginosos y aceites usados en biodiésel quedan excluidas. Es importante señalar que en la producción agrícola los procesos de fabricación de la maquinaria agrícola sí pueden tener una aportación algo más significativa, tal y como señalan Audsley et al (1997) y Delucchi (1993); sin embargo, se excluyen por coherencia con lo realizado para el caso del petróleo.

La etapa de construcción del vehículo de referencia queda asimismo excluida del análisis al utilizarse el mismo vehículo para todos los casos estudiados.

El suelo como parte del sistema productivo. En las etapas agrícolas de este ACV, el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático queda incluido dentro de los límites del sistema, al considerarlo parte del sistema productivo y no parte del medio ambiente. La implicación de esta hipótesis es que como efluentes al medio ambiente se considerará solo aquella fracción de los agroquímicos aportados al suelo que alcanza las aguas subterráneas o las superficiales y no aquella parte que permanece en el mismo. Esta fracción de agroquímicos aportados al suelo que alcanzan las aguas subterráneas o superficiales se ha estimado utilizando datos publicados en la literatura científica sobre el tema.

3.5 Descripción de los productos estudiados y cuantificación de la unidad funcional

Las características de los combustibles estudiados utilizadas en el presente estudio se muestran en la Tabla 1.

Las características de densidad, PCI, contenido de C y S de las mezclas estudiadas han sido calculadas tomando en consideración las mencionadas características del diésel y biodiésel puro y los porcentajes en que cada uno entra en las dos mezclas.

La unidad funcional elegida se ha referido a la cantidad expresada en MJ de cada tipo de combustible necesario para recorrer 1 kilómetro. Se ha cuantificado en términos mensurables la unidad funcional utilizando los consumos de combustible del Ford Focus 1.80 Tddi 90CV declarados por el fabricante (Luna, comunicación personal) consumiendo combustible diésel.

Tabla 1. Características de los combustibles estudiados

	Densidad kg/l	PCI MJ/kg	C kg/t	C fósil kg/t	S kg/t
BD5A1	0,837	41,62	857	814	0,048
BD10A1	0,840	41,38	852	772	0,045
BD100A1	0,880	37,31	769	0	0,003
BD5A2	0,838	41,63	857	816	0,048
BD10A2	0,840	41,42	852	771	0,046
BD100A2	0,887	37,70	765	0	0,010
Diésel EN-590	0,835	41,85	862	862	0,05

Fuente: AOP, REPSOL YPF, ACCIONA Biocombustibles, BIONOR

El consumo de combustible cuando funciona con diésel es de 0,054 l/km en el ciclo de conducción considerado en la Directiva 98/69/CE. En este estudio de ACV, para calcular el consumo de combustible del vehículo con las mezclas estudiadas así como los biodiésel puros, se ha realizado una estimación en función del poder calorífico inferior resultando los consumos de combustible que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumos de combustible del vehículo de referencia con cada una de las mezclas estudiadas

Consumo de combustible	
	(l/km)
BD5A1	0,05416
BD10A1	0,05433
BD100A1	0,05747
BD5A2	0,05412
BD10A2	0,05423
BD100A2	0,05643
Diésel EN-590	0,054

Teniendo en cuenta estos consumos de combustible y los poderes caloríficos de cada uno de los combustibles detallados en la Tabla 1, la unidad funcional para todos los sistemas queda como sigue:

Unidad funcional: 1,89 MJ

3.6 Vinculación de los datos con la unidad funcional

La unidad funcional cuantificada anteriormente contiene las siguientes cantidades de diésel y biodiésel de cada origen:

	Diésel (g)	Biodiésel (g) de aceite usado	Biodiésel (g) de aceite de girasol	Biodiésel (g) de aceite de soja	Biodiésel (g) de aceite de colza	Biodiésel (g) de aceite de palma
Sistema BD5A1	42,9653	0	0,2383	0,9533	0,5958	0,5958
Sistema BD10A1	40,8276	0	0,4781	1,9124	1,1952	1,1952
Sistema BD100A1	0	0	5,0575	20,2299	12,6437	12,6437
Sistema BD5A2	42,9280	2,4001	0	0	0	0
Sistema BD10A2	40,7567	4,8105	0	0	0	0
Sistema BD100A2	0	50,0554	0	0	0	0
Sistema Diésel EN-590	45,0900	0	0	0	0	0

En estas cantidades de biodiésel, el contenido en cada tipo de aceite para cada sistema es el siguiente:

	Aceite usado recogido (g)	Aceite usado reciclado (g)	Aceite de girasol (g)	Aceite de soja (g)	Aceite de colza (g)	Aceite de palma (g)
Sistema BD5A1	0	0	0,2486	0,9943	0,6214	0,6214
Sistema BD10A1	0	0	0,4986	1,9946	1,2466	1,2466
Sistema BD100A1	0	0	5,2750	21,0998	13,1874	13,1874
Sistema BD5A2	3,1222	2,4721	0	0	0	0
Sistema BD10A2	6,2580	4,9549	0	0	0	0
Sistema BD100A2	65,1166	51,5571	0	0	0	0
Sistema Diésel EN-590	0	0	0	0	0	0

Para producir estas cantidades de aceite, las cantidades de semilla necesaria son las siguientes:

	Semilla girasol (g)	Semilla soja (g)	Semilla colza nacional (g)	Semilla colza importada (g)	Semilla palma (g)
Sistema BD5A1	0,5933	5,4037	0,0080	1,5113	3,5763
Sistema BD10A1	1,1190	10,8402	0,1596	3,0318	7,1743
Sistema BD100A1	12,5913	114,6733	1,6880	32,0717	76,8935

3.7 Balances energéticos. Cálculo de la energía primaria

Los balances energéticos de los sistemas estudiados se han determinado en función del uso de energía primaria. Para hacer la transformación a energía primaria de la energía eléctrica usada en los procesos considerados se han realizado las siguientes consideraciones:

- la energía hidráulica y eólica se consideran energía primaria y el factor de conversión a energía primaria se considera 1.
- Las centrales de carbón se ha considerado que tienen un rendimiento eléctrico de un 35,5% (IDAE, 2002) y por tanto su factor de conversión a energía primaria es de 2,82
- Para las centrales nucleares se considera un rendimiento de un 33% (IDAE, 2002) y por tanto su factor de conversión a energía primaria es de 3,03.
- Las centrales de fuel y gas convencionales tienen un rendimiento de alrededor de un 37% (IDAE, 2002) y por tanto su factor de conversión a energía primaria es de 2,70
- Las centrales de ciclo combinado tienen un rendimiento de alrededor de un 51% (IDAE, 2002) y por tanto se ha considerado un factor de conversión de 1,96.

Teniendo en cuenta la proporción en que cada una de estas fuentes entra en la producción de energía eléctrica en España (Red Eléctrica, 2004), en Europa (Frischknecht et al, 1996) y en

Tailandia se han obtenido los factores de conversión de energía primaria para la electricidad producida en España, Europa y Tailandia. Estos factores son los siguientes:

Tabla 3. Factores de conversión a energía primaria para la electricidad

Factor de conversión	
España	2,39
Europa	2,60
Tailandia	2,54

Estos factores de conversión a energía primaria se han usado para convertir la electricidad en energía primaria en todos los balances energéticos de todos los procesos considerados en este estudio de ACV.

4 DATOS NECESARIOS. REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MISMOS.

Una vez definido el objetivo y alcance del ACV a realizar, y antes de iniciar la tarea de inventario, es necesario definir las fuentes de datos más importantes y los datos a recopilar.

En la medida de lo posible, los datos serán recogidos de instalaciones productivas específicas vinculadas a los procesos. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera sea importante y cuyas emisiones se espera sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en la producción agrícola de las semillas de oleaginosas, en la obtención de aceite y en la transformación a biodiésel, los procesos que se desarrollan en la extracción y refinado del petróleo y los procesos en la etapa de combustión de los combustibles en los motores. Para ello, se han solicitado datos a las siguientes entidades:

- Bunge-MOYRESA. Datos referidos a la obtención de aceite vegetal de semillas de oleaginosas.
- BIONOR, BIONET EUROPA y ACCIONA Biocombustibles. Datos relativos al proceso de transformación del aceite a biodiésel.
- ECOGRAS RECUPERACIÓN Y RECICLADO S.L.. Datos relativos al proceso de recogida y reciclaje de aceite vegetal usado.
- AOP. Datos relativos a la extracción, transporte y refinado del petróleo para producir diésel en las refinerías españolas.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. Datos relativos a las etapas de producción agrícola de semillas de oleaginosas en España.
- Ford. Datos relativos a las emisiones del vehículo de referencia con los distintos combustibles considerados.

Para los procesos en los cuales no se han conseguido datos primarios, se ha recurrido a la utilización de datos de fuentes ya publicadas. Asimismo, el estudio de los datos publicados en procesos similares a los de este estudio ha permitido realizar una validación de los datos primarios recogidos.

Los datos recogidos se refieren preferiblemente a los últimos cinco años y a las zonas donde tienen lugar los procesos. Así, los datos agrícolas se refieren a las zonas de producción de donde se compran efectivamente las semillas de oleaginosas para las plantas de biodiésel; los datos de refinería se refieren a las refinerías españolas; los datos de las plantas de producción se han recogido de plantas en funcionamiento en nuestro país, etc.

El desarrollo de la tecnología a considerar será, como se ha especificado anteriormente, la tecnología actualmente empleada en los procesos considerados.

Se han utilizado bases de datos publicadas y disponibles en la herramienta informática SIMAPRO para los procesos más comunes como transportes, combustibles y productos químicos básicos. Las bases de datos a usar son las siguientes:

- ETH-ESU 96.

ETH Zurich, Ökoinventare von Energiesysteme (Frischknecht et al. 1996). Inventario de datos para Suiza y Europa occidental de procesos relacionados con el suministro de energía.

Contiene datos sobre materiales (construcción, sustancias químicas, metales, combustibles, plásticos, etc.), energía, transporte, tratamiento de residuos y otros.

En nuestro estudio se ha utilizado para los procesos de generación de energía y en los procesos donde intervienen sustancias químicas. Usando los datos de esta base de datos se ha construido un proceso de producción eléctrica del sistema eléctrico español actualizado al año 2004.

- BUWAL 250.

BUWAL, Ökoinventare für Verpackungen (BUWAL 250). Inventario de materiales de empaquetado realizada por EMPA para el Instituto Suizo de Empaquetado.

Contiene datos sobre materiales (sustancias químicas, metales, combustibles, plásticos, etc.), energía, transporte, tratamiento de residuos y otros.

En nuestro estudio se utilizará en los procesos donde intervienen sustancias químicas y transporte.

- ECOINVENT.

Ha sido desarrollada por el ETH de Zúrich y por la Swiss Federal Offices. El inventario contiene datos sobre energía, transporte, residuos, construcción, químicos, detergentes, papel y agricultura. Los datos son válidos para condiciones similares a las de Suiza y de los países de Europa occidental.

Estas bases de datos están disponibles en la herramienta informática SIMAPRO 6.0.

5 HERRAMIENTA INFORMÁTICA UTILIZADA.

El presente estudio de ACV se ha realizado utilizando una herramienta informática comercial denominada SIMAPRO 6(<http://www.pre.nl/simapro>).

SimaPro es una herramienta desarrollada por Pré Consultants para el Análisis de Ciclo de Vida que analiza y compara los aspectos medioambientales de un producto de una manera sistemática y consistente siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14040.

La primera versión de SimaPro data de 1990 y desde entonces ha sido utilizado por empresas, consultoras, universidades y centros de investigación en multitud de estudios lo cual avala su capacidad y potencial en este tipo de análisis.

5.1 La Base de Datos

Una de los principales elementos del programa es la Base de Datos. Esta Base de Datos puede contener varias librerías o proyectos que a su vez agrupan diferentes procesos. Todas las entradas y salidas de un proceso están definidas en el registro de la base de datos de ese proceso. Los procesos se separan en siete categorías: materiales, energía, transporte, procesado, uso, escenario de residuos y tratamiento de residuos. Además, la base de datos contiene datos de carácter general como son los nombres de sustancias, las unidades de medida, referencias de la literatura, etc..

La base de datos por defecto contiene librerías de distintos autores con datos de energía, industriales, materiales, transporte y métodos de evaluación de impacto.

5.2 Los indicadores de calidad de los datos

Otro elemento importante de SimaPro es el sistema de indicadores de calidad de los datos basado en los requisitos expuestos en la ISO 14041. Este sistema evalúa la idoneidad de los datos asignándoles una puntuación ponderada teniendo en cuenta el perfil que se haya definido en el objetivo y alcance: periodo de tiempo, región del estudio, tipo de tecnología, límites del sistema, etc... En este sentido, los datos primarios utilizados en este ACV son de máxima calidad.

5.3 El inventario de ciclo de vida

Una vez se han detectado qué datos son los necesarios para el análisis se procede a hacer el inventario de ciclo de vida. Primero se buscan y recogen aquellos datos que no están contenidos en las librerías de la herramienta y se introducen en los registros de los procesos de la forma en que se ha detallado en las secciones anteriores. Después SimaPro genera automáticamente un árbol de procesos o diagrama de flujos uniendo todos los procesos.

5.4 La evaluación de impacto

SimaPro incluye varios métodos de evaluación de impacto reconocidos. Todos utilizan el procedimiento de caracterización por el cual se calcula la contribución relativa de una sustancia a una categoría de impacto determinada. Además, algunos métodos también utilizan otros procedimientos, como la evaluación de daño (Eco-Indicator 99), la normalización o la ponderación. El programa también permite crear métodos propios de evaluación de impacto, que es la opción utilizada en este estudio.

6 REVISIÓN CRÍTICA

El proceso de revisión crítica es necesario en este estudio de ACV al tratarse de un análisis comparativo entre dos productos que cumplen la misma función, el biodiésel de aceites vegetales y el diésel. Esto se hace con el objetivo de evitar al máximo la posibilidad de malentendidos o efectos negativos en las partes interesadas.

Tal y como señala la norma UNE-EN-ISO 14040, la revisión crítica deberá asegurar que:

- los métodos usados en el ACV son consistentes con dicha norma internacional,
- los métodos usados en el ACV son científica y técnicamente válidos,
- los datos usados son apropiados y razonables en relación con el objetivo del estudio,
- las interpretaciones reflejan las limitaciones identificadas y el objeto del estudio,
- el informe del estudio es claro y consistente.

Objetivos adicionales del proceso de revisión crítica son los siguientes:

- identificar los interlocutores que pueden contribuir a la recolección de los datos,
- identificar los parámetros que caracterizarán al escenario prospectivo según la perspectiva de los diferentes actores del sector,
- validar los resultados obtenidos.

Para llevar a cabo esta revisión crítica se ha formado un **grupo de revisión crítica** integrado por expertos de ACV externos así como por representantes de las partes interesadas.

Los integrantes de este grupo de revisión crítica son las siguientes personas:

- Doña Montserrat Fernández San Miguel de la DGCEA del Ministerio de Medio Ambiente.
- D. Rafael Llamas, MOYRESA.
- D. Antonio Egurrola, MOYRESA.
- D. Enrique Cabello, MOYRESA.
- D. Xavier Muro, ECOGRAS.
- D. Luis Ferrero Quintana, BIONOR.
- Doña Ziortza Sebastián, BIONOR.
- D. Alfredo Erviti, ACCIONA Biocombustibles (antes EHN) .
- Doña Elisa Rivera, BIONET Europa.
- D. Gonzalo del Castillo Ramírez de la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP).
- D. José Baro Calle, REPSOL YPF.
- Dr. Jesús Fernández de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.
- D. Manuel Luna, Ford.
- D. Carlos Mataix, ANFAC.
- Dra. Mercedes Ballesteros de la Unidad de Biomasa del CIEMAT.

Durante este proceso de revisión crítica se han realizado dos informes de revisión y una reunión del grupo revisor.

El primero de los informes de revisión definía el objetivo y alcance del estudio de ACV y fue mandado a todos los miembros del grupo revisor para sus comentarios. Este documento fue presentado ante el grupo revisor en una reunión que tuvo lugar en CIEMAT el día 25 de febrero de 2005. Dichos comentarios fueron incluidos en la versión final del mismo y sus contenidos quedan reflejados en el presente documento.

El segundo de los informes de revisión, este documento, resume los principales resultados del estudio en lo que se refiere a energía y cambio climático.

SECCIÓN II. ANÁLISIS DE INVENTARIO

1. ANÁLISIS DE INVENTARIO DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA.

1.1 Principales hipótesis y limitaciones

La metodología empleada en el análisis de inventario de la actividad agrícola está fundamentalmente basada en la metodología desarrollada en la acción Concertada AIR3-CT94-2028 de la Comisión Europea “Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture” (Ausdley et al, 1997).

A continuación se detallan algunas de las principales hipótesis metodológicas hechas en el inventario de la actividad agrícola que entra a formar parte de los sistemas estudiados.

1.1.1 Origen de las semillas

El origen de las semillas oleaginosas usadas en las plantas de producción de biodiésel es tanto nacional, cultivado en zonas agrícolas españolas y transportado por tierra a la planta de producción de biodiésel, como importado y transportado por tierra o mar hasta la planta de transformación. Según información recibida de ACCIONA Biocombustibles y MOYRESA, los porcentajes y orígenes de los aceites vegetales crudos en el proceso de transformación a biodiésel son variables, dependiendo de los precios de los distintos aceites y semillas en el mercado pero una distribución representativa de la situación actual podría ser la siguiente:

colza: 25%, del cual un 5% es de producción nacional y un 95% importada de Francia
soja 40%, importada de EEUU
palma 25%, importada de Malasia
girasol 10%, de producción nacional

Se ha considerado que parte de la colza y toda la soja se importan en forma de semilla y se transportan por tren y barco hasta la planta extractora que se localiza en las cercanías del puerto de Bilbao. El girasol y la colza nacional se cultivan en zonas españolas (Castilla y León y Cataluña respectivamente) y se transportan hasta la instalación extractora por vía terrestre. La palma se importa en forma de aceite que llega por barco hasta puerto español y por carretera hasta la planta de transformación a biodiésel.

Se ha realizado también un análisis de sensibilidad en el que se evalúa el efecto de un cambio en estas proporciones de aceites, así como el origen de algunos de ellos.

1.1.2 Fuentes de datos

Las etapas agrícolas son etapas muy importantes en cuanto a su contribución a los resultados de los estudios de ACV de biocombustibles, tal y como puede constatarse en los estudios relevantes consultados (Ceuterick, D. y Spirinckx, C. 1997; Sheehan, J. et al, 1998; ADEME, ECOBILAN, DIREM, 2002.; Elsayed, M.A., R. Matthews, y N.D. Mortimer.2003). Debido a ello, se ha tomado especial cuidado en la selección de los datos agrícolas a utilizar en el presente estudio de ACV.

Para el estudio de la **producción nacional de girasol y de colza** se han utilizado los datos proporcionados por el Laboratorio de Agroenergética del Departamento de Producción Vegetal y Botánica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid. Estos datos están basados en la práctica real del cultivo del girasol en la zona de Castilla y León que se ha considerado que sería la zona productora de girasol nacional, y del cultivo de colza de secano en Cataluña que es la zona de mayores superficies cultivadas con colza en España. Se ha considerado que la semilla se transporta en camiones hasta las plantas de extracción de aceite. Los datos de producción de **colza importada** se han tomado de los datos obtenidos por Ceuterick and Spirinckx (1997) para el cultivo intensivo de colza en Bélgica. Los datos se basan en la producción en régimen intensivo con altos insumos de fertilización y tratamientos fitosanitarios, representativos de la producción en Bélgica. En este sistema se cosecha también prácticamente toda la paja (que luego se usará como combustible en otras aplicaciones) y sólo aquella que no puede ser cosechada se incorpora al suelo como fertilizante junto con las raíces y otros residuos vegetales. El rendimiento en semilla es de 3,5 t/ha.

Para el caso de la producción de **soja importada** se han tomado los datos existentes en el estudio de Sheehan et al (1998) de soja producida en los Estados Unidos. El estudio recoge las prácticas agrícolas habituales en Estados Unidos para este tipo de cultivo. La rotación de cultivos habitual se verifica entre la soja y otro tipo de cultivos como el maíz. Esta rotación de cultivos ayuda a mantener unas buenas condiciones de fertilidad y humedad en el suelo lo que reduce la demanda de fertilización (Lin et al, 1995) y mejora el control de insectos, enfermedades y malas hierbas. Es por ello que la aplicación de fertilizantes en Estados Unidos es mucho menos intensiva que en Europa. Los rendimientos agrícolas varían entre 1,34 y 3,02 t/ha de soja según los años y los estados.

Para la producción de **palma** se han utilizado los datos publicados en Pleanjai et al, 2004 para producción de palma en Tailandia. Las prácticas y rendimientos de cultivo de palma en Tailandia son en todo similares a los de Malasia que es el principal exportador de aceite de palma del mundo.

1.1.3 Escenario de referencia

A la hora de determinar las cargas ambientales atribuibles a la producción de semilla de oleaginosas para la producción de biodiésel, es necesario definir el destino alternativo de las tierras cultivadas con este objetivo en el caso de que no existiera esta producción de biodiésel.

En este estudio de ACV y para la semilla producida en nuestro país, el escenario de referencia considerado consiste en dejar la tierra en retirada.

Se ha considerado que la demanda de semilla permanece fija y que la instalación de plantas de producción de biodiésel produce una demanda adicional de semilla por la cual tierras que antes eran dejadas en retirada son puestas en cultivo.

En estas tierras de retirada se realizan dos labores de cultivador anuales, cuyas cargas ambientales se restan a las cargas de nuestros sistemas agrícolas para obtener las cargas ambientales netas de los mismos.

Para las semillas importadas, los datos han sido obtenidos de estudios de ACV publicados, y por tanto el escenario de referencia en cada caso es el especificado en estos estudios.

1.1.4 Modelización de la fijación de CO₂ por la biomasa

El crecimiento del cultivo supone un importante sumidero de CO₂ atmosférico debido a la fijación de este gas en el proceso de fotosíntesis de las plantas para formar compuestos de carbono orgánicos utilizados en su crecimiento. El CO₂ fijado en la parte del cultivo que se exporta del terreno tiene dos destinos finales. La parte fijada en la biomasa que se cosecha (semilla y paja en colza, soja y girasol; y frutos y racimos en el caso del cultivo de palma) y la parte fijada en la biomasa que queda en el terreno (rastreros y raíces)

La parte fijada en la semilla se transformará a su vez en 1) C contenido en el biodiésel que se quemará en el motor del vehículo considerado emitiendo entonces las correspondientes cantidades de CO₂, 2) C contenido en los co-productos de la extracción de aceite (harinas, lecitina y mucílagos) y 3) C contenido en la glicerina co-producida en la transformación del aceite a biodiésel.

Para tener en cuenta que este C se ha fijado previamente en el cultivo, las cantidades de CO₂ emitidas provenientes de la combustión del biodiésel y del uso del resto de los co-productos no se han contabilizado como emisiones y se han considerado como cero.

Por otra parte, la paja tiene uso como alimento del ganado, de forma que todo el C fijado en ella termina al final mineralizado en forma de CO₂. La fijación de C en esta parte del cultivo no se ha considerado, pero tampoco se ha considerado una emisión del proceso al ser un carbono fijado previamente.

Después de la cosecha, los residuos de los cultivos se mineralizan en gran parte y vuelven a la forma de CO₂, pero una parte del carbono absorbido por las plantas se transfiere al suelo en forma de rizodépósitos. Estos depósitos son formas inmovilizadas de C que no se transforman de nuevo en CO₂ y por tanto se consideran como una fijación neta de CO₂ atmosférico por el cultivo.

Existen datos publicados de la fijación de C en cultivo de cereal. Una revisión de estos estudios se puede encontrar en Kuzyakov y Domanski, (2000). Como media, esa fijación permanente de C es alrededor de 250 kgC/ha para productividades de cereal de 6 t/ha, por lo que el C fijado en el suelo es alrededor de 41,67 kgC/t biomasa. En estudios realizados en condiciones españolas en cultivo de sorgo se han obtenido valores de fijación de C en el suelo de 30 kg C/t de biomasa (Fernández, et al, 2003).

Sin embargo, no se han encontrado datos de fijación de C en rizodépósitos en cultivos oleaginosos por lo que no se considerará este tipo de fijación.

Como escenario base se ha considerado que no existe una fijación neta de CO₂ en el suelo en forma de rizodépósitos.

En los sistemas agrícolas considerados existen emisiones de CO₂ derivadas de las labores realizadas en los cultivos y en la producción y transporte de los diferentes insumos agrícolas. Estas emisiones son las que se han contabilizado como emisiones de CO₂ de los sistemas agrícolas considerados.

1.2 Descripción cualitativa y cuantitativa del proceso de cultivo de girasol y colza nacional

En la Figura 3 se muestra un esquema de las actividades consideradas en los sistemas agrícolas estudiados. Dentro de los límites del sistema incluimos todas las labores agrícolas que se realizan en el cultivo, así como todos los procesos de producción de los diferentes insumos agrícolas: gasoil, herbicidas, abonos y semilla. Dado que el proceso de producción de colza tiene un co-producto con valor y uso en el sistema económico que es la paja, incluimos también los procesos de empaquetado de la paja para luego asignar las diferentes cargas del sistema total a los dos co-productos en base a reglas de asignación que se discuten posteriormente.

Fuera de los límites del sistema quedan los procesos de fabricación de maquinaria agrícola y camiones de transporte.

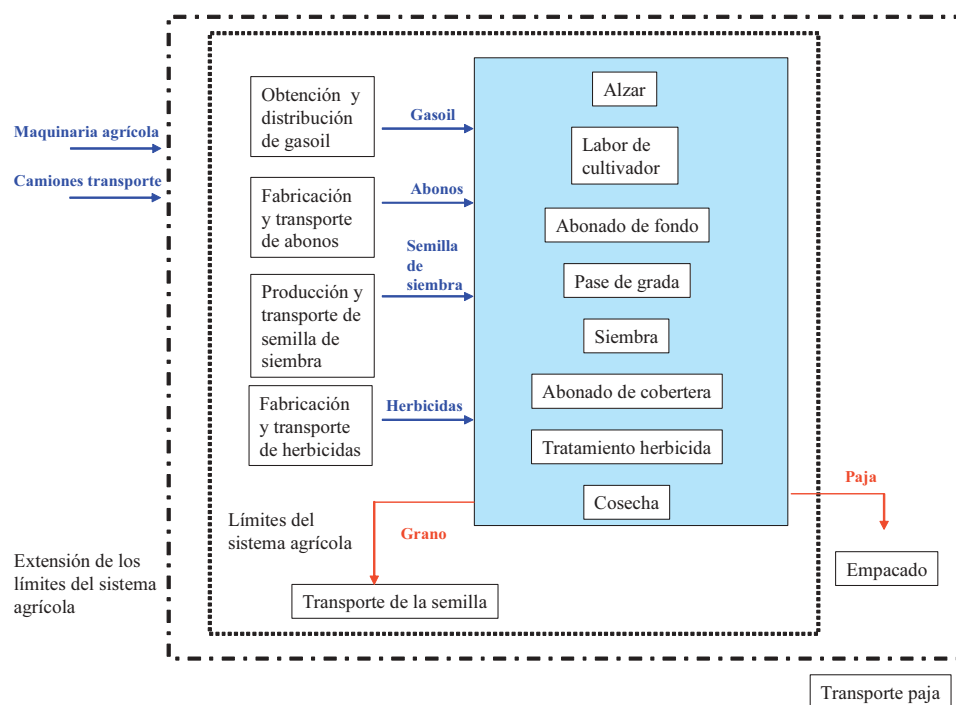


Figura 3. Esquema de las actividades de la producción agrícola en los sistemas considerados

En la Figura 4 y Figura 5 se muestran diagramas del proceso de producción de girasol y colza con las entradas de materia y energía referidas a una hectárea.

Las entradas de energía y materias primas de los procesos de obtención de gasoil, fertilizantes y transportes se han obtenido de bases de datos que se han detallado anteriormente y no están especificadas en estos diagramas.

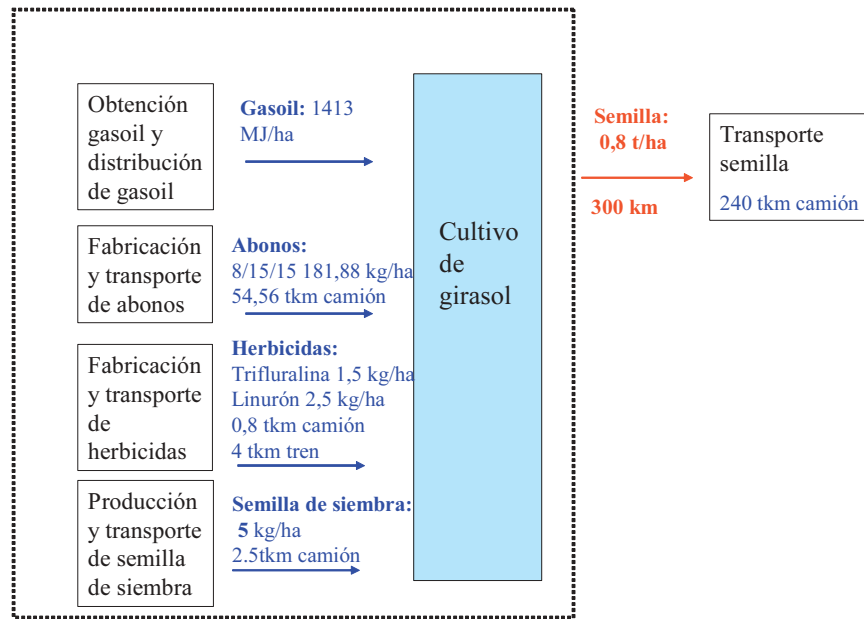


Figura 4. Diagrama del proceso de producción de girasol

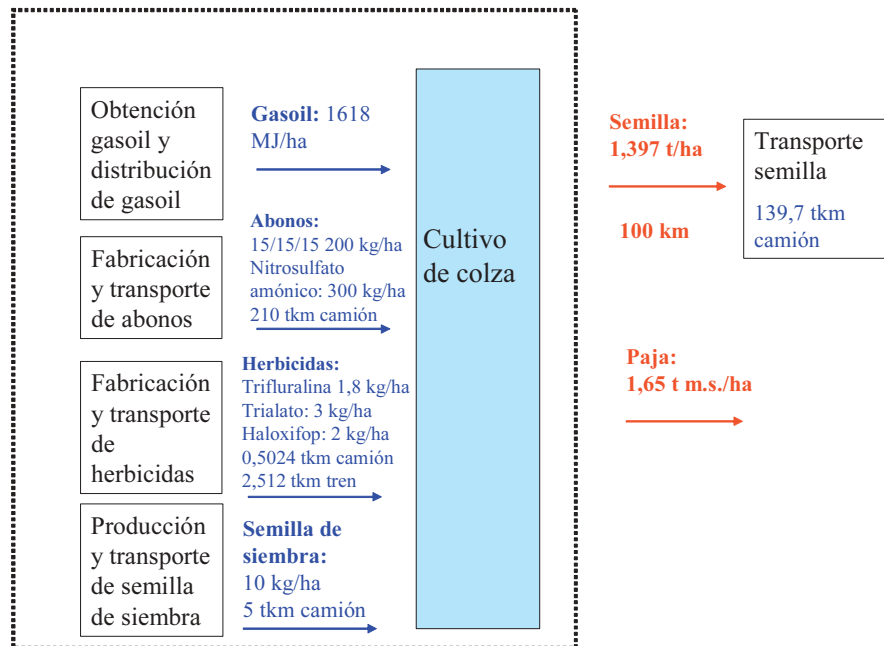


Figura 5. Diagrama del proceso de producción de colza nacional

1.3 Procedimientos de cálculo

1.3.1 Producción y transporte de la semilla de siembra

La producción de semilla de siembra se ha considerado en todo similar a la producción de girasol o de colza de los sistemas que se están estudiando. Únicamente se ha considerado un menor rendimiento por hectárea (80%). La superficie necesaria para producir la semilla de siembra (0,0078 ha para el sistema girasol, y 0,0089 ha para el sistema colza) se añade al área necesaria de producción de girasol o colza. De esta forma, las cargas ambientales de la producción de girasol o colza se multiplicarán por los factores siguientes: 1,00078 para girasol y 1,00089 para colza, para permitir la producción de la cantidad necesaria de semilla de siembra.

1.3.2 Producción de fertilizantes

La producción de fertilizantes, especialmente los nitrogenados, es una de las etapas de la actividad agrícola que más peso tiene en los análisis de inventario de producción de oleaginosas suponiendo un porcentaje elevado, 40-70%, en los estudios relevantes consultados (Audsley et al, 1997; Gover et al, 1996; ECOBILAN 2002).

Por esta razón se ha tomado especial cuidado en la toma de datos relativos a la producción de fertilizantes. Los datos de materias primas, energía y emisiones de los procesos de producción de estos fertilizantes se han obtenido de la Asociación Europea de fabricantes de fertilizantes (EFMA, 2000a, 2000b) y son los relativos a las mejores técnicas disponibles para la producción de estos compuestos. Los datos sobre emisiones relacionadas con el uso de energía en la fabricación de los fertilizantes se han obtenido de la base de datos ETH (Frischknecht et al, 1996) y Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.ch/en>).

1.3.3 Producción de herbicidas

La energía necesaria para los procesos de fabricación de los herbicidas usados en los cultivos estudiados se ha estimado utilizando el método propuesto por Audsley et al (1997) basado en los datos publicados por Green (1987).

Los datos sobre emisiones relacionadas con el uso de energía en la fabricación de los herbicidas se han obtenido de la base de datos ETH (Frischknecht et al, 1996).

No existen datos disponibles sobre las emisiones de los procesos de producción de estos herbicidas, por lo que no se van a considerar en este estudio. Esto está en concordancia con lo recomendado por Audsley et al (1998) que considera todas las emisiones de proceso provenientes de la fabricación de los herbicidas como despreciables frente a las emisiones que se producen en el uso agrícola de estos productos. Esta misma hipótesis de trabajo utiliza Weidema et al (1995) en un análisis de ciclo de vida de productos alimenticios.

1.3.4 Transporte de los insumos agrícolas

En el análisis de inventario se incluyen las etapas de transporte de los distintos insumos agrícolas desde los centros de producción hasta la parcela de cultivo. Para este estudio, se ha considerado que los fertilizantes se transportan 300 km por carretera en camiones de 16 t desde los centros de producción hasta la parcela de cultivo. Por tanto, las necesidades de transporte se han cuantificado en 60 tkm. Asimismo, se ha considerado que los herbicidas se transportan 1000 km por tren y 200km por carretera en camiones de 16 t desde los centros de producción hasta la

parcela de cultivo. Las cargas ambientales de este transporte se han obtenido usando la base de datos BUWAL (BUWAL250).

1.3.5 Uso de energía y emisiones asociadas a las labores agrícolas

En el análisis de inventario se incluyen las labores agrícolas y los consumos de combustible diésel asociados a ellas. Las cargas ambientales asociadas a la extracción, refinado y transporte del combustible diésel de la maquinaria usada se han obtenido de la base de datos BUWAL (BUWAL 250). Las emisiones de la combustión del diésel en los tractores se han estimado utilizando los factores de emisión propuestos por Weidema y Mortensen (1995) usados por Audsley et al (1997).

1.3.6 Emisiones de N₂O desde el suelo agrícola

Estas emisiones suponen una fuente importante de gases de efecto invernadero. Su cuantificación es extremadamente incierta puesto que son muy variables dependiendo de las condiciones concretas de humedad y temperatura del terreno en cada momento.

Para estimar las cantidades de óxido nitroso emitidas al aire existen varias metodologías.

En primer lugar, está la metodología propuesta por el IPCC (IPCC, 1996) que estima que las pérdidas de N en forma de óxido nitroso son un $(1,25 \pm 1)\%$ del nitrógeno aplicado. Este rango engloba el 90% de los valores de emisión obtenidos en campo y publicados por Bouwman (1994).

Skiba et al (1996) realizaron ensayos de medida de las emisiones de óxido nitroso en cereales de invierno en el Reino Unido y los resultados fueron de un 0,5% de las aportaciones de N en fertilización. Este valor está dentro del rango propuesto por el IPCC.

Kaiser et al (1998) realizaron ensayos en Alemania durante un periodo de 33 meses y observaron pérdidas de N₂O entre un 0,7% y un 4,1% del N aportado en la fertilización, correspondiendo los valores más bajos al trigo de invierno.

La metodología propuesta por Audsley et al (1997) se basa en valores derivados por Armstrong-Brown en función del tipo de fertilizante y la época de aplicación. En nuestro caso se aplica un fertilizante compuesto cuyo nitrógeno está en forma amoniacal como fertilización de fondo en el mes de abril en el caso del girasol y en el mes de septiembre en el caso de la colza al que le corresponden unas pérdidas de N en forma de óxido nitroso de un 0,4% en el caso del girasol y del 0,5% en el caso de la colza. Posteriormente, en el caso de la colza se aplica nitrosulfato amónico en cobertera en enero, al que le corresponden unas pérdidas de un 0,4%. Ambos valores están también dentro del rango contemplado por el IPCC.

La metodología desarrollada por Freibauer (2002) está basada en factores de regresión obtenidos a partir de una revisión de estudios de campo de emisiones de N₂O en Europa. Esta metodología diferencia entre suelos oceánicos y bajos de clima templado, y suelos prealpinos, alpinos y subboreales. El estudio reconoce que existen muy pocos estudios en suelos mediterráneos y por ello esta metodología no ha sido considerada.

Algunas experiencias realizadas en España (Vallejo, 2003) en cereales de invierno en secano dan valores que oscilan entre un 0,56 y un 1,36% del N aportado en la fertilización. Estos valores han sido obtenidos en las condiciones de cultivo de los cereales españoles, que difieren de las condiciones de cultivo de girasol y colza.

Como valor de referencia para las emisiones de óxido nitroso, en este estudio de ACV se ha tomado el 0,4% del N aportado en la fertilización, y como valores alternativos para análisis de sensibilidad, los valores extremos propuestos por el IPCC que engloban a la mayoría de los valores experimentales obtenidos.

1.4 Reglas de asignación

Los sistemas agrícolas considerados producen, además de la semilla, otro producto con valor comercial y con uso fuera del sistema, que es la paja. La paja de girasol se deja en el campo y reduce las necesidades de fertilización. La paja de colza se vende para su uso como alimento del ganado. Por tanto, según señala la norma UNE-EN-ISO 14040, “los flujos de materia y energía, así como las emisiones al medioambiente asociadas, se deberán asignar a los diferentes co-productos de acuerdo con procedimientos claramente establecidos, que serán documentados y justificados”.

Son varios los métodos de asignación que pueden aplicarse a un problema de co-producción como el que nos ocupa, pero la norma UNE-EN-ISO 14040 señala una jerarquía clara:

- 1) Siempre que sea posible, se evitará la asignación, por medio de:
 - a) La **división del proceso en dos o más subprocesos** y la recogida de los datos de entrada y salida relacionados con estos subprocesos. En el caso que nos ocupa está subdivisión no es posible.
 - b) La ampliación del sistema producto hasta incluir las funciones adicionales relacionadas con los co-productos. Es lo que se denomina **evitar la asignación por extensión de los límites del sistema**. Este método consiste en tener en cuenta las cargas ambientales correspondientes a la paja y restar las cargas ambientales que se producen en un sistema alternativo que proporciona el mismo servicio que el que proporciona la paja.
- 2) Cuando no se pueda evitar la asignación, ésta se realizará de forma que refleje las relaciones físicas existentes entre los diferentes co-productos. Este método de asignación deberá reflejar la forma en que las entradas y salidas del sistema se ven modificadas por cambios cuantitativos de los productos o funciones generadas por el sistema. Este método se denomina **asignación en base a relaciones físicas o asignación marginal**. Este método de asignación consiste en medir los efectos en las cargas del sistema de cambiar en una pequeña cantidad la salida de un co-producto (semilla) manteniendo el otro (paja) constante. Cualquier cambio que se produzca en las cargas del sistema, se asignará al co-producto que cambia (en nuestro caso, a la semilla).
- 3) Cuando no sea posible concretar una relación física, se deben asignar las entradas entre los distintos co-productos de forma que reflejen las otras relaciones que guardan entre sí. Ejemplos de este tipo de asignación serían:
 - a) **la asignación en base a la composición**. En este método se determina una propiedad común de los co-productos que es representativa de su función, y las cargas ambientales se reparten en función de los valores relativos de esta propiedad. En nuestro caso, es difícil elegir una propiedad común, ya que la función de cada subproducto es diferente: la semilla se empleará para producir aceite, para lo cual se podría usar el contenido de aceite como parámetro relevante, y la paja para alimentación animal, en cuyo caso parámetros relevantes podrían ser la energía metabolizable o la proteína digestible. La elección del parámetro no es obvia y este sistema de asignación se ha descartado.

- b) **la asignación en base al valor económico.** En este método se eligen los valores económicos de los distintos subproductos en el punto en que se separan en el sistema. Sería el valor de la semilla cosechada y el valor de la paja sin empacar en el campo.

El método de evitar la asignación por extensión de los límites del sistema es el que se ha usado en nuestro estudio.

Sin embargo, tal y como señala la norma UNE-EN-ISO 14041, ya que existen varios métodos alternativos que en teoría son aplicables, también se han utilizado en un análisis de sensibilidad para conocer qué consecuencias conllevaría el hecho de desviarse del método seleccionado.

El método alternativo que se ha usado es la asignación en base al valor económico.

1.4.1 Extensión de los límites del sistema.

Este método consiste en tener en cuenta las cargas ambientales correspondientes a la paja y restar las cargas ambientales que se producen en un sistema alternativo que proporciona el mismo servicio que el que proporciona la paja. Este servicio, en el caso de la paja de colza es la alimentación animal. Como sistema alternativo a la paja hemos considerado la producción de heno de alfalfa. El uso de la paja de colza de nuestro sistema permite reducir la cantidad de producción de alfalfa para heno en el sistema económico, por tanto, los impactos producidos por estos sistemas se evitan.

El cultivo de alfalfa considerado tiene las siguientes características:

- Duración del cultivo: 4 años
- Labores realizadas:
 - Año de implantación:
 - Alzar
 - Enmienda caliza (2 t cal apagada/ha)
 - Abonado de fondo (20kg N/ha; 175kg P₂O₅/ha; 250kg K₂O/ha)
 - Tratamiento herbicida presiembra (Benfluralina 18% p/v 6,5l/ha)
 - 3 Pases de grada
 - Pase de rodillo
 - Siembra (Dosis:16kg/ha)
 - Tratamiento herbicida postemergencia (Propizamida 50% PM 1,5kg/ha)
 - Cosecha (6 cortes con segadora acondicionadora) Producción en verde (80% humedad): 44,56 t/ha y año
 - Empacado del heno. Producción en heno (18% humedad): 29,21 t/ha y año
 - 2^o-4^o año
 - Fertilización de cobertera (150 kg P₂O₅/ha; 200 kgK₂O/ha)
 - Tratamiento herbicida postemergencia (Propizamida 50% PM 1,5kg/ha)
 - Cosecha (7 cortes con segadora acondicionadora) Producción en verde (80% humedad): 44,56 t/ha y año
 - Empacado del heno. Producción en heno (18% humedad): 34,08 t/ha y año

La metodología general seguida para calcular las cargas ambientales de este cultivo es igual a la seguida para el cálculo de las cargas ambientales del cultivo de girasol o colza.

En el caso de la paja de girasol, ésta se deja en el campo y reduce las necesidades de fertilización. Por tanto, la paja evita la producción de la cantidad equivalente de fertilizante NPK, que se ha calculado en 18,12 kg, teniendo en cuenta el contenido en nutrientes de la paja (5,8 kgN/t; 0,7 kg P₂O₅; 8,3 kgK₂O/t).

1.4.2 Asignación en base al valor económico

Este método de asignación consiste en tomar como parámetro relevante para realizar la asignación de las cargas ambientales, el valor económico de los co-productos en el momento en que se separan en el sistema. Serían por tanto el valor económico de la semilla cosechada en campo y el valor económico de la paja en campo antes de empacar.

El precio de la semilla de colza en origen se ha obtenido de los datos de la Cámara de Ciudad Real (<http://www.camaracr.org>) para junio de 2006. Los datos de los precios de la paja a pie de finca sin empacar se han obtenido de Acciona Biocombustibles (Erviti, 2006). Estos precios se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Precio de la semilla y de la paja de colza en Euros/t a utilizar en el método de asignación en base al valor económico.

	Semilla	Paja
Colza	192	10

Asignando las cargas ambientales en función de los valores económicos relativos de los subproductos, los factores de asignación que se obtienen para los dos sistemas estudiados son los siguientes:

Tabla 5. Factores de asignación entre semilla y paja para los dos sistemas estudiados según el método de asignación en base a los valores económicos.

	Semilla	Paja
Colza	0,94	0,06

1.5 Balance energético.

Se ha realizado un balance de energía de los procesos de producción agrícola del cultivo de girasol y colza. Los resultados de energía primaria total se muestran en las tablas Tabla 6 y Tabla 7.

El uso de energía por tonelada de semilla de colza se ha calculado utilizando el método de extensión de los límites del sistema según se ha explicado en secciones anteriores. El uso de energía total se ha estimado en 4710,28 MJ/t de girasol y 5943,83 MJ/t de colza.

Para el caso del cultivo de colza, las referencias publicadas dan valores de consumos energéticos bastante mas reducidos: 3136,59 MJ/t colza (Ceuterick, D. y Spirinckx, C. 1997), 1754 MJ/t colza (Ademe, Ecobilan Direm, 2002), 2045 MJ/t colza (Elsayed, M.A., R. Matthews, y N.D. Mortimer.2003) y 1213 MJ/t colza (Halberg, N y P. Nielsen, 2003.)

Para el caso del girasol las referencias publicadas dan valores de 4365 MJ/t(Ademe, Ecobilan Direm, 2002) que son bastante similares a las obtenidas en nuestro estudio.

Vemos en ambos casos cómo el proceso de fabricación de fertilizantes es el proceso que más contribuye al uso de energía en la producción agrícola. Esto coincide con los resultados obtenidos en otros estudios publicados de producción agrícola.

Tabla 6. Balance de energía de la producción de girasol

	MJ/ha	MJ/ha incluída producción de semilla Factor 1,0078	MJ/ha evitados por la paja	MJ/ha incluída producción de semilla despues de asignacion	MJ/t girasol	Contribución relativa (%)
Labores agrícolas	1.401,74	1.412,69		1.412,69	1.765,87	36
Alzar	446,78	450,27				
Abonado de fondo	279,86	282,05				
(Pase de grada)	111,94	112,82				
Pase de cultivador	259,87	261,90				
Siembra	219,89	221,61				
Tratamiento	92,35	93,08				
Cosecha	259,87	261,90				
Fabricación fertilizantes	1.641,97	1654,80	148,80	1.506,00	1.882,50	42
Fabricación pesticidas	659,61	664,76		664,76	830,95	17
Transportes insumos	183,34	184,77		184,77	230,96	5
TOTAL	3.886,66	3.917,03	148,80	3.768,22	4.710,28	100,00

Tabla 7. Balance de energía de la producción de colza

	MJ/ha colza	MJ/ha incluída producción de semilla Factor 1.0089	MJ/ha evitados por la paja	MJ/ha despues de asignacion	MJ/tm.s. colza Producción 1.397 t m.s.	Contribución relativa (%)
Labores agrícolas	1.618	1.632,64	107,14	1.525,50	1.168,67	20
Alzar	446,78	450,76			322,66	
Abonado de fondo	111,94	112,94			80,85	
(Pase de grada)	139,93	141,18			101,06	
Pase de cultivador	259,87	262,18			187,68	
Fertilización de cobertera	111,94	112,94			80,85	
Siembra	164,92	166,39			119,10	
Pase de grada	139,93	141,18			101,06	
Tratamiento	251,88	254,12			181,90	
Cosecha	259,87	262,18			187,68	
Fabricación fertilizantes	5.338,16	5.385,67	97,93	5.287,74	3.855,17	65
Fabricación pesticidas	652,59	658,40	6,09	652,30	471,29	8
Transportes insumos	621,30	626,83	23,45	603,38	448,69	8
TOTAL	8.230,28	8.303,53	235	8.068,92	5.943,83	100

Para el caso de las semillas importadas, colza, soja y palma, los valores de energía primaria total utilizados, procedentes de los estudios publicados, son los siguientes:

	MJ/t frutos frescos de palma	Contribución relativa (%)	MJ/t semilla soja	Contribución relativa (%)	MJ/t semilla colza importada	Contribución relativa (%)
Labores agrícolas	13,33	1%	1.484,87	47%	1.271,71*	41%
Fabricación fertilizantes	1.738,48	96%	658,24	21%	1.864,88**	59%
Fabricación pesticidas	54,85	3%	586,38	19%		
Transportes insumos	n,a,	0%	429,84	14%		
TOTAL	1.806,65		3.159,33		3.136,59	

* incluye secado de la semilla ** incluye fabricación de pesticidas y transporte de insumos

2. ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE LAS SEMILLAS HASTA LA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

2.1 Fuentes de datos

Para calcular las necesidades de transporte de las semillas hasta la planta de extracción se han estimado unas distancias de transporte desde las zonas productoras consideradas.

2.2 Descripción cualitativa del proceso de transporte de las semillas hasta la planta de extracción de aceite

Para la extracción de aceite de las semillas de colza, soja y girasol, la planta de extracción considerada está situada en Portugalete y es propiedad del grupo BUNGE-IBÉRICA.

La semilla de origen nacional se transporta hasta la planta de extracción en camión. Se han considerado unas distancias de transporte de 100 km para la colza nacional y 300 km para el girasol hasta la planta de extracción de aceite.

La semilla de colza importada se transporta en tren desde las zonas de producción en Francia hasta el puerto de Nantes un total de 239 km. Posteriormente, se transporta en barco desde Nantes hasta el puerto de Bilbao 522 km y en camiones hasta la planta extractora un total de 15 km.

La semilla de soja se ha considerado que se produce en EEUU y se transporta por tren desde las zonas de producción en los estados de Illinois y Iowa hasta el puerto de Nueva York un total de 1300km. Desde allí se transporta por barco hasta el puerto de Bilbao 5828 km y en camiones hasta la planta extractora, un total de 15 km.

Para la extracción de aceite del fruto de palma, se ha considerado (Pleanjai et al, 2004) que la planta de extracción está situada muy cerca de las zonas de producción, a una distancia de 1,5 km.

2.3 Descripción cuantitativa del proceso de transporte de las semillas hasta la planta de extracción de aceite

Las necesidades de transporte calculadas para las distintas semillas se muestran en la tabla 8. Las cargas ambientales se calculan en función de las emisiones y los consumos de combustible del vehículo en cuestión para transportar 1tkm, es decir 1 t transportada 1km.

2.4 Procedimientos de cálculo

Las cargas ambientales de todos estos transportes se han obtenido usando la base de datos ETH (Frischknecht et al. 1996).

2.5 Balance energético

La energía primaria consumida en estos transportes se resume en la Tabla 9.

Tabla 8. Necesidades de transporte de las semillas hasta las plantas de extracción

	Modo	tkm/kg aceite
Girasol	camión 28t	0,30
Soja	tren	1,30
	barco	5,83
	camión 28t	0,02
Colza importada	tren	0,24
	barco	0,52
	camión 28t	0,02
Colza nacional	camión 28t	0,10
Palma	camioneta	0,002

Tabla 9. Energía primaria consumida en el transporte de las semillas hasta las plantas de extracción

	Modo	MJ/kg aceite
Girasol	camión 28t	1,07
Soja	tren	0,69
	barco	0,52
	camión 28t	0,05
Colza importada	tren	0,13
	barco	0,05
	camión 28t	0,05
Colza nacional	camión 28t	0,36
Palma	camioneta	0,02

3. ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

3.1 Fuentes de datos

Los datos utilizados en la elaboración de este análisis de inventario de la extracción de los aceites de girasol, soja y colza han sido facilitados por el grupo BUNGE-IBÉRICA y MOYRESA-GIRASOL, cuya planta de extracción de aceite está situada en Portugalete, provincia de Vizcaya.

Los datos relativos a la extracción de aceite de palma han sido proporcionados por el Doctor Shabbir H. Gheewala de la King Mongkut's University of Technology Thonburi (Pleanjai, S. et al 2004).

3.2 Descripción cualitativa del proceso de extracción de aceite de girasol, soja y colza

En la **Figura 6** se muestra un esquema de las actividades consideradas en los sistemas de extracción de los aceites de girasol, soja y colza. En los casos en los que existen diferencias en los procesos de extracción entre los aceites, éstas quedan explicadas en el texto.

Dentro de los límites del sistema se incluyen los procesos necesarios en cada fase para llevar a cabo la extracción del aceite de la semilla.

Fuera de los límites del sistema quedan los procesos de fabricación de toda la maquinaria utilizada en el proceso. Asimismo, no se incluye en los límites del sistema el refinado del aceite, ya que se tendrá en cuenta en el proceso de transformación a biodiésel.

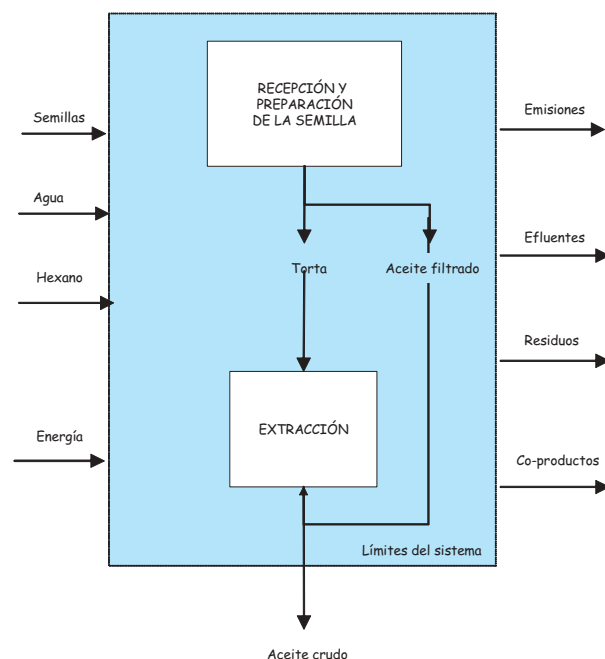


Figura 6: Esquema de los procesos implicados en la extracción de los aceites estudiados

El proceso de obtención de aceite se divide en dos fases principales:

1. Recepción y preparación de las semillas.
2. Extracción de aceite y preparación de harinas.

3.2.1 Recepción y preparación de las semillas

Las semillas se reciben en la planta en cintas transportadoras y se secan haciéndolas pasar por una corriente de aire. Mediante el uso de varios filtros, las partículas con densidad menor de 150 mg/Nm^3 quedan atrapadas. Una vez que las semillas están secas, se limpian y se almacenan temporalmente. Las semillas pasan a un triturador para romper la cáscara que se desecha.

La carne de la semilla pasa al proceso de laminado y después a una cámara dónde se acondiciona su temperatura y humedad. En una serie de tornillos rotativos, las semillas laminadas se prensan. El aceite obtenido se filtra y se incorpora a la decantación junto al aceite que proviene de la extracción con solvente.

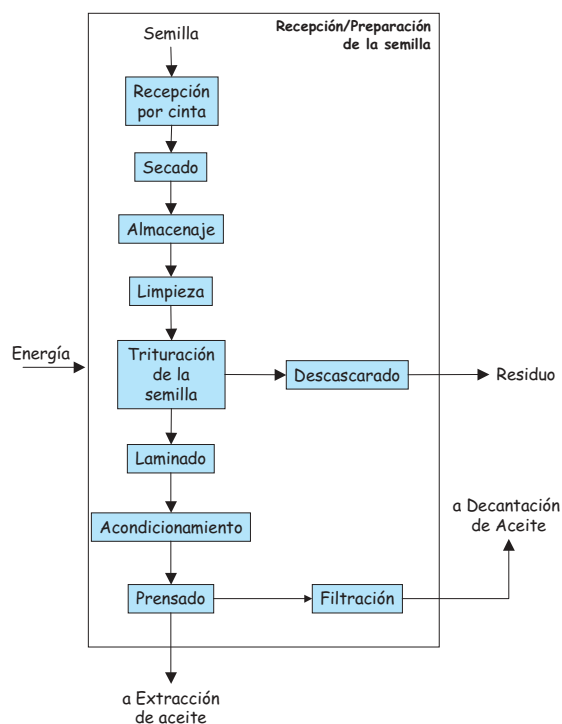


Figura 7: Esquema del proceso de recepción y prensado de la semilla

3.2.2 Extracción de aceite y preparación de harinas

El aceite no extraído en el prensado y remanente en la pasta es extraído con solventes. El solvente más utilizado es el hexano especialmente refinado para su uso en la industria de aceites vegetales.

La pasta se deposita en el extractor y se inunda de solvente dando lugar a la miscela, mezcla de hexano y aceite. De ésta se extrae lentamente el aceite obteniéndose una fracción de pasta junto con hexano y otra de miscela. En ambos casos se debe retirar el hexano.

El hexano se elimina de la pasta en un desolventizador-tostador. La mayor parte de solvente se extrae mediante inyección de chorros de vapor. Del desolventizador se obtiene:

- Harina: sin contenido de hexano. Se debe enfriar y moler. Es posible eliminar nuevamente cáscaras de semilla que hayan quedado. La harina, tanto integral como descascarada, se almacena hasta el momento en que se expida.
- Hexano: el hexano obtenido se condensa y se separa del agua que contiene. Una vez que se ha obtenido hexano puro, se almacena hasta que vuelva a utilizarse de nuevo en el proceso.

La miscela se destila con vapor. El hexano evaporado se lleva al condensador uniéndose al hexano procedente del desolventizador. El aceite se decanta junto con el aceite crudo que se obtuvo en la primera extracción por prensado.

En el caso de extracción de aceite de girasol y colza, el aceite decantado se centrifuga para eliminar las impurezas, se deja secar y se almacena a la espera de ser expedido.

Si la extracción es de aceite de soja, el aceite decantado se calienta y se le añade agua, lo que provoca que la lecitina contenida en él se hinche formando una emulsión gelatinosa que puede separarse del aceite sin dificultad. Tras este proceso, se separa el agua, el aceite y la lecitina mediante un proceso de centrifugación. La lecitina de soja y el aceite crudo se secan y se almacenan a la espera de su venta.

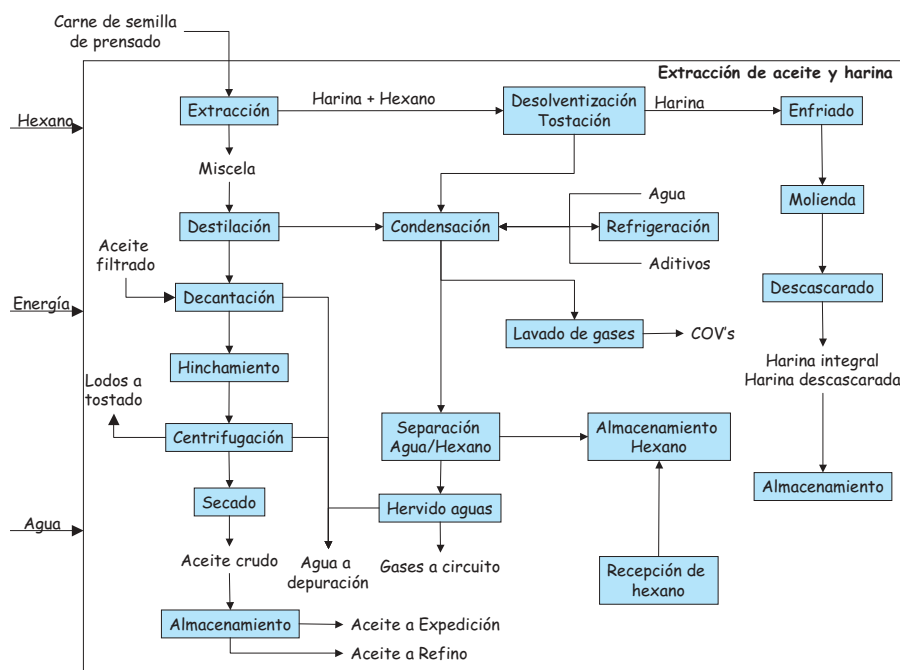


Figura 8: Esquema del proceso de extracción de aceite

3.3 Descripción cualitativa del proceso de extracción de aceite de palma

El esquema de las actividades que intervienen en el proceso de extracción de aceite de palma se puede ver en la **Figura 9**.

No se han considerado dentro de los límites del sistema los procesos de fabricación de toda la maquinaria utilizada en el proceso.

El proceso de extracción de aceite de palma se divide en 7 etapas:

1. **Carga en la rampa:** los frutos de palma se cargan en una cinta transportadora hasta el lugar de descarga donde dará comienzo el proceso de obtención de aceite.
2. **Esterilización de los frutos:** la esterilización se realiza en una autoclave durante 1 hora y 40 minutos. La temperatura que se alcanza en esta etapa es de 120-130°C. El vapor que se utiliza en la esterilización se condensa y pasa a ser agua residual.
3. **Trillado:** se realiza una separación del fruto de palma esterilizado del racimo en el que está sostenido. El fruto de palma limpio será lo que se aproveche en las siguientes fases mientras que el racimo se desechará.
4. **Prensado:** los frutos de palma son prensados bajo condiciones de vapor.

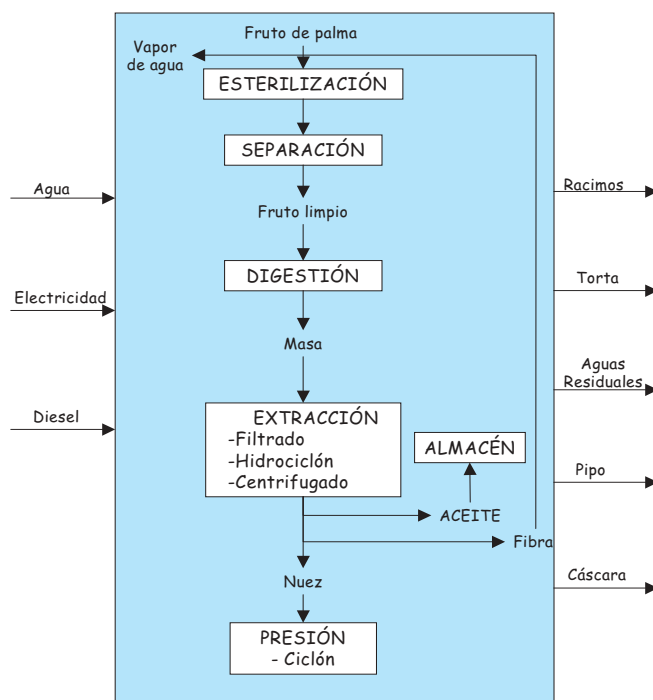


Figura 9: Esquema de los procesos implicados en la extracción de aceite de palma

5. **Extracción del aceite:** la masa homogénea que se ha obtenido en la fase anterior se introduce en una prensa de tornillos. Tras esto, se filtra en un tamiz donde por un lado se obtiene el aceite con impurezas y por otro la fibra del fruto y la nuez. El aceite se introduce en un hidrociclón y por último se elimina el agua y las partículas más finas en un decantador. En esta etapa se generan aguas residuales y una torta de decantación sin valor económico. El aceite obtenido se centrifuga y en un secador de vacío se prepara para ser almacenado y para su venta posterior. La temperatura a la que se mantiene el aceite en el almacén es de 60°C y se consigue mediante la inyección de vapor caliente.
6. **Separación de la nuez y la fibra:** la fibra y la nuez obtenida en el prensado anterior se separan en un ciclón. La fibra se recupera por la parte inferior del ciclón y será utilizada en la caldera de la planta como combustible. Esta combustión generará cenizas.
7. **Prensado de la nuez:** la nuez se prensa a la vez que se centrifuga. Después de este proceso, la carne de la nuez y la cáscara se separan por suspensión. Ambos productos se venden aunque con distintos fines. La cáscara se aprovechará en otras plantas de extracción como combustible, mientras que de la carne del pipo se obtendrá el aceite de palmiste.

3.4 Descripción cuantitativa del proceso de obtención de aceite de girasol, soja, colza y palma.

El esquema con el balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite de girasol se muestra en la Figura 10

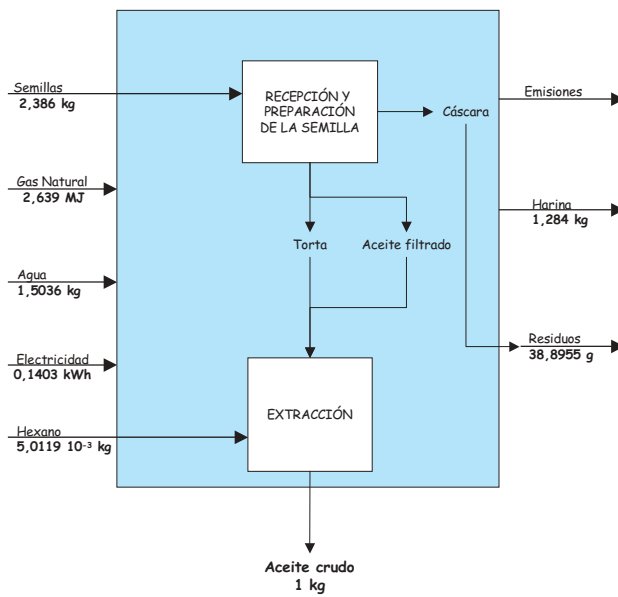


Figura 10: Esquema del balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite de girasol

En la Figura 11 se muestran las entradas y salidas de materia y energía del proceso de extracción de aceite de soja.

En este caso, la planta cuenta con una planta de cogeneración que se considera dentro de los límites del sistema.

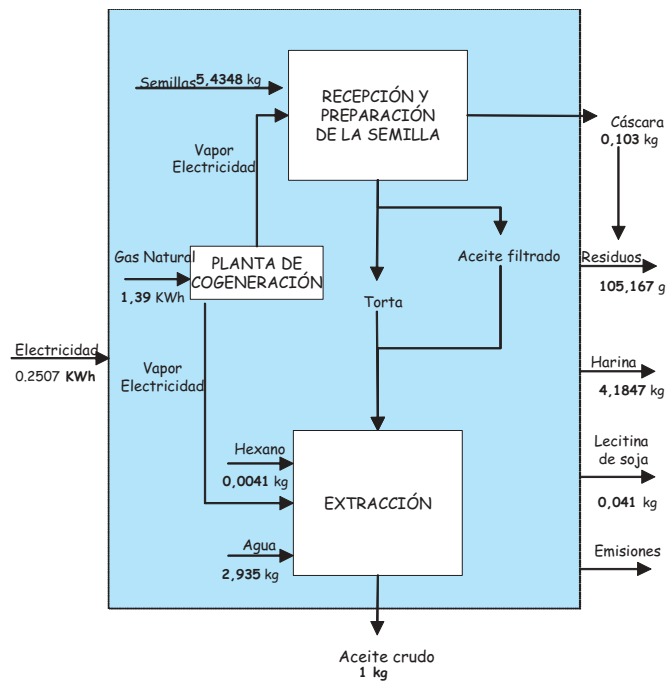


Figura 11: Balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite de soja

En la Figura 12 se muestra el balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite de colza.

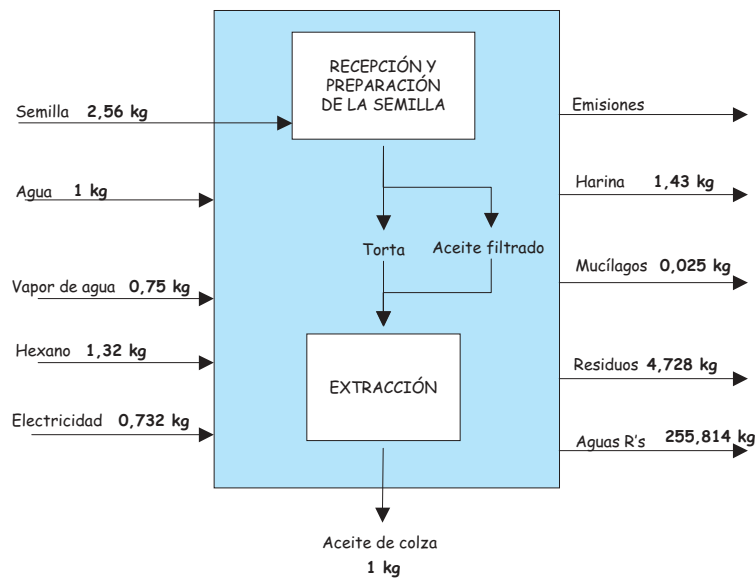


Figura 12: Esquema de las entradas y salidas de materia y energía del proceso de extracción de aceite de colza

En la Figura 13 se muestran las entradas y salidas de materia y energía del proceso de extracción de aceite de palma

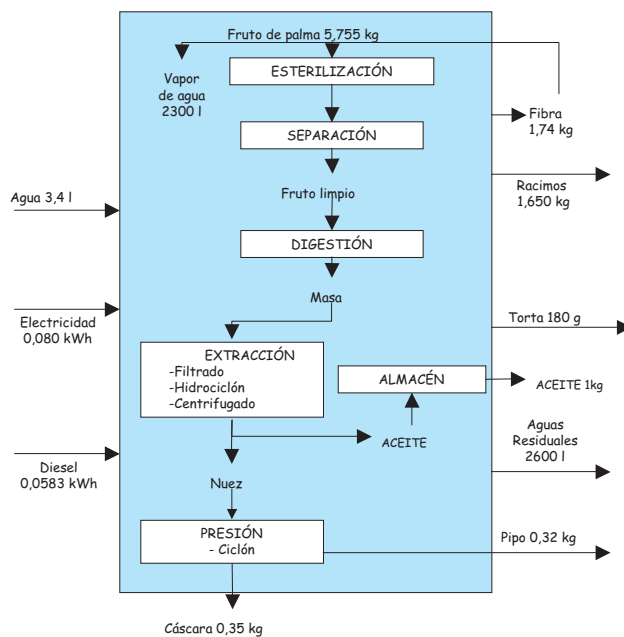


Figura 13: Esquema del balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite de palma

3.5 Procedimiento de cálculo en los procesos de extracción de aceite de girasol, de soja y de colza

3.5.1 Materias primas

En los procesos de extracción de aceite mencionados anteriormente, la materia prima principal es la semilla de la planta oleaginosa, en el caso de estudio, semilla de girasol, de soja y de colza.

El hexano es el solvente utilizado para realizar la extracción de aceite de dichas semillas. Los datos sobre la producción del hexano, el consumo de materias primas y energía, así como las emisiones y residuos referidos a su producción, se han obtenido de IFEU (2000).

En la Tabla 10 se muestran los consumos de materias primas referidas a 1kg de cada aceite estudiado.

Tabla 10: Consumo de materias primas en los procesos de extracción de aceite de girasol, soja y colza

	kg/kg aceite de girasol	kg/kg aceite de soja	kg/kg de aceite de colza
Semilla	2,387	5,4348	2,56
Hexano	0,005	0,0041	0,0045
Agua	1,5	2,935	1

Fuente: MOYRESA

3.5.2 Uso de Energía

La electricidad y el gas natural son las fuentes de energía utilizadas en el proceso de extracción de aceite de girasol y de colza. El uso de electricidad y de gas natural conlleva la emisión de varios contaminantes. En el estudio se han tenido en cuenta dichas emisiones utilizando las bases de datos ya mencionadas ETH-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996) y BUWAL (BUWAL 250), así como los factores de emisión de calderas de gas natural compilados por la EPA (AP-42).

En la Tabla 11 se indica el consumo de energía de la planta de extracción de aceite de girasol y de aceite de colza, así como el equivalente en energía primaria, separando, en el caso del aceite de colza, el consumo eléctrico del proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 11: Consumo de energía en el proceso de extracción de aceite de girasol y de colza

	Girasol		Colza	
	Consumo energético (MJ/kg aceite)	Energía primaria (MJ/kg aceite)	Consumo energético (MJ/kg aceite)	Energía primaria (MJ/kg aceite)
Electricidad	0,51	1,21	0,40	0,96
Electricidad para tratamiento de aguas residuales	-	-	2,23	5,33
Gas natural	2,64	2,64	2,79	2,79

* se ha supuesto que el vapor de proceso se obtiene a partir de gas natural

Fuente: MOYRESA

La planta de extracción de aceite de soja cuenta con un sistema de cogeneración que suministra vapor y energía eléctrica al proceso. Esta producción de energía eléctrica no es suficiente para todo el consumo energético del proceso por lo que también se toma electricidad de la red nacional. Al igual que para el caso del aceite de girasol y el aceite de colza, las emisiones derivadas del uso de electricidad se han obtenido utilizando la base de datos ETH-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996) y BUWAL (BUWAL 250) así como los factores de emisión de turbinas de gas compilados por la EPA (AP-42)..

En la **Tabla 12** se muestra el consumo de energía de la planta, así como el equivalente en energía primaria, donde el gas natural sirve de alimentación a la planta de cogeneración.

Tabla 12: Consumo de energía en el proceso de extracción de aceite de soja

	Consumo energético (MJ/kg aceite)	Energía primaria (MJ/kg aceite)
Electricidad	0,90	2,16
Gas natural	5,00	5,00

Fuente: MOYRESA

3.6 Procedimiento de cálculo en los procesos de extracción de aceite de palma

Materias primas

Los frutos de palma son la principal materia prima en la extracción de aceite aunque también se requiere agua y vapor de agua. En la tabla 13 se pueden ver los consumos de materias primas referidas a 1 kg de aceite de palma.

Tabla 13: Consumo de materias primas en el proceso de extracción de aceite de palma

	kg/kg de aceite de palma
Fruto de palma	5,755
Agua	3,40

Fuente: (Pleanjai, S., 2004)

Uso de Energía

En el proceso de extracción de aceite se utiliza diésel y electricidad. Las emisiones producidas por la producción de esta electricidad se han tomado de la base de datos ETH-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996) y BUWAL (BUWAL 250) considerando que la producción de electricidad en Tailandia se realiza a partir de gas natural (73,2%), carbón (14,2%), hidráulica (8,2%), fuel oil (2,1%) y renovables (2,3%) (Nakawiro, 2004)

El vapor de agua que se consume en el proceso se obtiene a partir de la combustión de la fibra del fruto de palma. Las emisiones de esta caldera se han tomado de Pleanjai et al (2004).

En la siguiente tabla se muestra el consumo de energía del proceso estudiado así como el equivalente en energía primaria.

Tabla 14. Consumo de energía en el proceso de extracción de aceite de palma

	Consumo energético (MJ/kg aceite)	Energía primaria (MJ/kg aceite)
Electricidad	0,29	0,73
Diésel	0,21	0,21

Fuente: (Pleanjai, S., 2004)

3.7 Reglas de asignación

En el proceso de extracción de aceite se producen otros productos con valor comercial, además del aceite. Como se ha descrito anteriormente, la norma UNE-EN 14040 indica que “los flujos de materia y energía así como las emisiones al medioambiente asociadas se deberán asignar a los diferentes co-productos de acuerdo con procedimientos claramente establecidos que serán documentados y justificados”.

Siguiendo la jerarquía de métodos de asignación propuesta en la norma UNE-EN 14041 siempre se evitará la asignación por medio de la ampliación del sistema producto hasta incluir estas funciones adicionales relacionadas con los co-productos. Es decir en este estudio,

Se evitará la asignación utilizando el método de extensión de los límites del sistema.

Tal y como indica la norma, es necesario evaluar la influencia de elegir otro sistema de asignación alternativo. En este caso, se realizará la **asignación másica** como sistema alternativo, y posteriormente, se realizará un análisis de sensibilidad que determine la influencia de elegir uno u otro método de asignación.

3.7.1 Extensión de los límites del sistema

Este método consiste en incluir las cargas correspondientes a los co-productos originados en los procesos y restar las cargas correspondientes a los productos evitados por estos co-productos. Los productos y co-productos originados en los sistemas de extracción de aceite analizados son los siguientes:

Producción de aceite de girasol	Producción de aceite de soja	Producción de aceite de colza	Producción de aceite de palma
Aceite: 1 kg	Aceite: 1 kg	Aceite: 1 kg	Aceite: 1 kg
Harina: 1,284 kg	Harina: 4,184 kg	Harina: 1,43 kg	Cáscara: 0,35 kg
	Lecitina de soja: 0,041 kg	Mucílago: 0,025 kg	Pipo o palmiste: 0,32 kg

La harina producida en este proceso de extracción de aceite tiene un uso como fuente de proteína para alimentación animal. El pipo de la palma o palmiste se utiliza para extraer aceite de palmiste, produciendo a su vez como subproducto, harina de palmiste, que también tiene uso como fuente de proteína en piensos para alimentación animal.

La proteína producida sustituye a proteína de soja que se considera como producto marginal en el mercado de piensos (Weidema, 1999), y el único de los sistemas en el que el producto principal es la harina. La sustitución marginal de proteína por grano de cereal, o DDGS, también sería posible pero, dentro del horizonte temporal analizado, el precio de la semilla de

soja se espera que se encuentre bastante por debajo del precio del grano de cereal. Por tanto, la proteína obtenida en este proceso de extracción **evita** la producción de harina de soja.

Sin embargo, la producción de harina de soja tiene a su vez como subproducto aceite de soja que deberá ser sustituido por otro aceite en el mercado. El aceite marginal en el mercado de aceites se considera que es el aceite de colza ya que es el aceite de menor precio y cuya composición en ácidos grasos le hace sustituto del aceite de soja en la mayoría de las aplicaciones (Weidema, 1999).

El aceite de palmiste producido se considera asimismo que evita la producción de aceite de colza.

La cáscara de la palma se vende como fuente de energía a otras industrias extractoras, sustituyendo a otra fuente de energía térmica que consideraremos como el gasoil.

La lecitina de soja tiene su uso en el mercado de los productos dietéticos. Para ello, la soja utilizada debe ser no transgénica, con completa trazabilidad. Sin embargo, según fuentes consultadas de la industria extractiva de aceite de soja, cada vez es más difícil conseguir soja no transgénica con trazabilidad hasta origen, por lo que en el futuro no se plantean producir lecitina como sub-producto comercial. Es por eso que no consideraremos aquí la lecitina como un co-producto del sistema.

Para realizar la extensión de los límites del sistema de la producción de harinas vamos a considerar conjuntamente la producción de todos los aceites en las cantidades necesarias para producir un kg de biodiésel.

Estas cantidades son las siguientes:

- 2,58 kg de semilla de soja
- 0,76 kg de semilla de colza
- 0,28 kg de semilla de girasol
- 1,71 kg de frutos de palma

Por tanto, **el sistema expandido incluiría la producción adicional de 1,75 kg de semilla de colza y evitaría la producción de 3,91 kg de semilla de soja**. Asimismo este sistema debería considerar el procesado de 0,083 kg de palmiste. Los detalles del procedimiento seguido pueden consultarse en el **Anejo I**.

3.7.2 Asignación másica

Este método de asignación consiste en tomar como parámetro relevante para realizar la asignación de las cargas ambientales la cantidad producida de cada co-producto en el momento en que se separan en el sistema.

A partir de estos datos se han obtenido los factores de asignación para el método de asignación por masas.

Tabla 15: Factores de asignación obtenidos con el método de asignación por masas para cada aceite

Factores de asignación: girasol	Factores de asignación: soja	Factores de asignación: colza	Factores de asignación: palma
➤ Aceite: 43,78	➤ Aceite: 19,14	➤ Aceite: 40,73	➤ Aceite: 59,88
➤ Harina: 56,22	➤ Harina: 80,86	➤ Harina: 58,25	➤ Cáscara: 20,96
		➤ Mucílago: 1,02	➤ Pipo: 19,16

3.7.3 Asignación en base al valor económico

Este método de asignación consiste en tomar como parámetro relevante para realizar la asignación de las cargas ambientales el valor económico de los co-productos en el momento en que se separan en el sistema.

Los precios de los distintos co-productos se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16: Precio de los distintos co-productos obtenidos en la etapa de extracción de aceite (Euros/t)

Girasol	Soja	Colza	Palma
➤ Aceite: 601,01	➤ Aceite: 486,74	➤ Aceite: 625,86	➤ Aceite: 401,15
➤ Harina: 81,47	➤ Harina: 125,7	➤ Harina: 137	➤ Cáscara: 44,09
		➤ Mucílago: n.d.	➤ Pipo: 192,9

Fuente: <http://today.reuters.com/investing/FinanceCommoditiesGroup.aspx?mkt=OILSEEDS>
http://econ.mpob.gov.my/upk/monthly/bh_monthaug06.htm

En base a estos precios los factores de asignación entre los distintos co-productos quedan como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17: Factores de asignación obtenidos con el método de asignación por masas para cada aceite

Factores de asignación: girasol	Factores de asignación: soja	Factores de asignación: colza	Factores de asignación: palma
➤ Aceite: 85,2	➤ Aceite: 48,1	➤ Aceite: 76,2	➤ Aceite: 81,5
➤ Harina: 14,8	➤ Harina: 51,9	➤ Harina: 23,8	➤ Cáscara: 15,3
			➤ Pipo: 3,2

3.8 Balance energético

En las tablas siguientes se muestran los balances energéticos de la extracción de los distintos aceites considerados antes de asignación. Desde el punto de vista de consumo de energía fósil el aceite de colza es el más intensivo, mientras que el aceite de palma es el que menos energía fósil consume.

Tabla 18. Uso de energía primaria total en la extracción de los aceites en MJ/kg

	Girasol	Colza	Soja	Palma
Energía en las materias primas				
semilla	8,02	9,37	18,26	19,34
hexano	0,28	0,25	0,23	
subtotal	8,30	9,62	18,49	19,34
Energía de proceso				
Electricidad	1,21	6,29	2,16	0,73
Gas natural	2,64	2,79	5,00	
Diésel				0,21
Fibra				8,7
subtotal	3,85	9,09	7,16	9,64
Total	12,15	18,71	25,65	28,98

Tabla 19. Uso de energía fósil en la extracción de los aceites en MJ/kg

	Girasol	Colza	Soja	Palma
Energía en las materias primas				
hexano	0,28	0,25	0,23	
Energía de proceso				
Electricidad	0,90	4,69	1,61	0,67
Gas natural	2,64	2,77	5,00	
Diésel				0,21
subtotal	3,54	7,46	6,61	0,88
Total	3,82	7,71	6,84	0,88

4. ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE ACEITES VEGETALES CRUDOS

4.1 Fuentes de datos

Para calcular las necesidades de transporte de los aceites vegetales crudos hasta la planta de producción de biodiésel se han estimado unas distancias de transporte considerando que la planta de transformación a biodiésel es la situada en Caparrosa (Navarra) propiedad de ACCIONA Biocombustibles.

4.2 Descripción cualitativa del proceso de transporte de aceites vegetales crudos hasta la planta de producción de biodiésel

Los aceites de soja, colza y girasol son transportados por carretera en camiones cisterna desde la planta de extracción en Portugalete hasta la planta de biodiésel en Caparrosa, una distancia estimada de 155 km.

El aceite de palma se transporta en camiones desde la planta de extracción situada en Krabi (Tailandia) hasta el puerto de Bangkok (Tailandia), una distancia de 814 km. Posteriormente es transportado en barco hasta el puerto de Bilbao una distancia estimada de 15951 km y de allí en camiones hasta la planta de biodiésel una distancia de 215 km.

4.3 Descripción cuantitativa del proceso de transporte de aceites vegetales crudos hasta la planta de producción de biodiésel

Las necesidades de transporte calculadas para las distintas semillas se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Necesidades de transporte de los aceites hasta la planta de producción de biodiésel

	modo	tkm/kg aceite
Girasol	camión 28t	0,16
Soja	camión 28t	0,16
Colza	camión 28t	0,16
Palma	barco	15,95
	camión 28t	1,03

4.4 Procedimientos de cálculo

Las cargas ambientales de todos estos transportes se han obtenido usando la base de datos ETH (Frischknecht et al. 1996).

4.5 Balance energético

La energía consumida en estos transportes se resume en Tabla 21

Tabla 21. Energía consumida en el transporte de los aceites hasta la planta de producción de biodiésel

	modo	MJ/kg aceite
Girasol	camion 28t	0,55
Soja	camión 28t	0,55
Colza	camión 28t	0,55
Palma	barco	1,42
	camión 28t	3,61

5. ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL DE ACEITES VEGETALES CRUDOS

5.1 Fuentes de datos

Los datos del proceso de producción de biodiésel para el análisis de inventario han sido suministrados directamente por el Grupo Acciona, basados en la planta ubicada en Atarros (Navarra).

5.2 Descripción cualitativa del proceso de producción de biodiésel

En la Figura 14 se muestra el esquema del proceso de producción de biodiésel donde pueden observarse las diferentes etapas necesarias hasta su obtención.

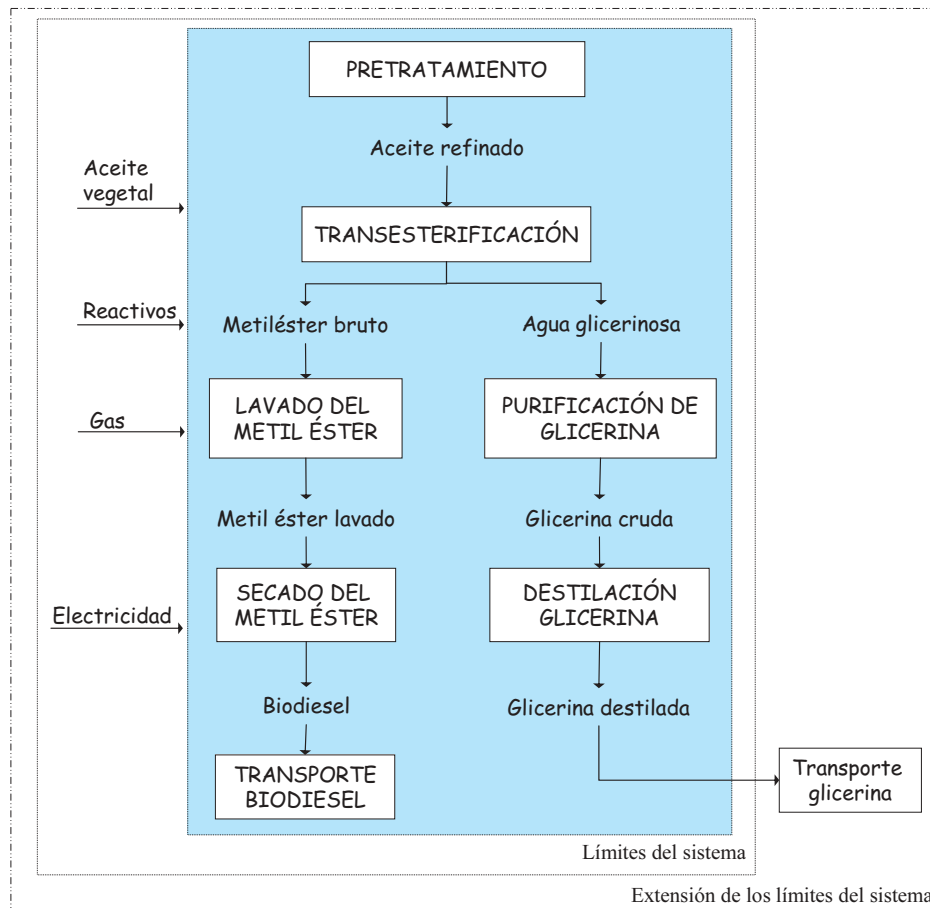


Figura 14. Esquema de los procesos implicados en la producción de biodiésel

Dentro de los límites del sistema se incluyen todos los procesos necesarios para llevar a cabo las diferentes fases necesarias para la fabricación del biodiésel.

Fuera de los límites del sistema quedan los procesos de fabricación de la maquinaria utilizada en la planta así como la construcción de la propia planta.

La planta tiene una producción anual de 35.000 toneladas de biodiésel al año. La planta es capaz de operar con todo tipo de aceites vegetales. En la actualidad está utilizando aceites de colza, soja, girasol y palma. Para nuestro estudio se han seleccionado los siguientes porcentajes: soja 40%, palma y colza 25% respectivamente, y girasol 10%.

El proceso de producción se divide en dos etapas:

1. Pretratamiento o refino
2. Proceso de transesterificación

5.2.1 Pretratamiento o refino

Los aceites vegetales llegan a la planta en camiones cisterna, desde donde son descargados hasta los tanques de almacenamiento. A continuación se pasan a la nave de refinado o pretratamiento, en donde se realiza el neutralizado y desgomado, blanqueo y descerado de los aceites crudos. En esta etapa se eliminan los ácidos grasos, fosfátidos y ceras contenidos en el aceite hasta obtener el aceite refinado. Como subproducto de este proceso se obtienen pastas jabonosas.

Los principales procesos para el refino de aceite crudo vegetal, cuando éste se va a utilizar para la fabricación de biodiésel, son:

- neutralización
- blanqueo

Neutralización

Los ácidos grasos se eliminan neutralizándolos con una base fuerte, sosa cáustica en este caso, que forma pastas jabonosas solubles en el agua. Estas pastas se lavan a fondo y se separan por densidad

Blanqueo

Los pigmentos son eliminados o reducidos mediante la adición de un adsorbente tal como tierras de blanqueo (bentonita cálcica). También se eliminan así las impurezas, como jabones que no hayan sido retirados en la neutralización. Este proceso se lleva a cabo en un tanque hermético sometido a vacío. Por último, el aceite se hace pasar por un filtro.

5.2.2 Proceso de transesterificación

La reacción de esterificación convierte el aceite en biodiésel, al reaccionar el triglicérido con un alcohol (alcoholólisis), en presencia de un catalizador, produciendo una mezcla de alquil ésteres de ácidos grasos (biodiésel) y glicerina.

Al aceite refinado se le añade metanol y en presencia del catalizador metóxido de sodio, se transforma en metilester, quedando además, como subproducto del proceso, aguas glicerinosas. El metilester bruto es lavado para eliminar los restos de metanol, glicerina, catalizador, etc y, posteriormente, se seca para obtener el biodiésel.

El agua glicerinosa se introduce en una columna de destilación donde a través de la evaporación se recupera el metanol, el cual se recircula al inicio del proceso. Mediante la purificación de la glicerina se obtiene glicerina cruda de uso industrial, y mediante su destilación, se obtiene glicerina farma de uso en cosmética.

5.3 Descripción cuantitativa del proceso de producción de biodiésel

En la descripción cuantitativa se refleja el balance de materia y energía del proceso de obtención del biodiésel. Para ello se especifican las cantidades de materia y energía consumidas en el proceso y se refleja asimismo las cantidades de producto principal y del subproducto generadas. En la Figura 15 puede observarse el esquema y las cantidades consumidas y generadas.

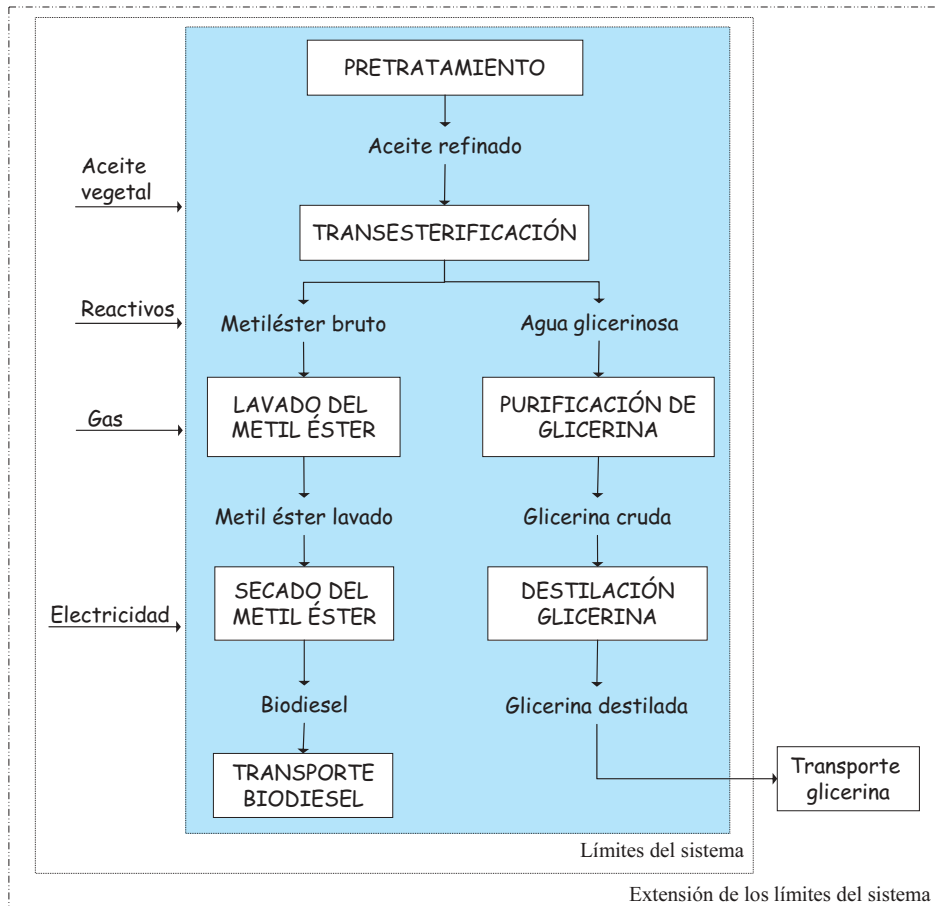


Figura 15. Esquema de los procesos implicados en la producción de biodiésel

5.4 Procedimientos de cálculo

5.4.1 Materias primas

Proceso de refino de aceite

El consumo de las diferentes materias primas necesarias en el proceso de refino de aceite, en este caso de girasol, soja y colza, ha sido facilitado por la empresa responsable del mismo. Se han incluido las materias primas necesarias para el tratamiento de las aguas residuales producidas durante el proceso.

Los datos sobre la producción de las distintas materias primas, el consumo de materias primas y energía, así como las emisiones y residuos referidos a su producción se obtendrán de las bases de datos EHT-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996), BUWAL (BUWAL 250) y Ecoinvent (www.ecoinvent.ch).

En la Tabla 22 se muestran los consumos de materias primas referidas a 1 kg de aceite refinado.

Tabla 22: Consumo de materias primas en el proceso de refinado de aceite de girasol, soja y colza

	kg/kg de aceite refinado
Aceite crudo	1,019
Ácido fosfórico	0,0028877
Sosa cáustica	0,00527
Agua	0,3099
Ácido cítrico	0,00092
Tierras de blanqueo	0,01223
Sulfato de Alúmina	7,16 10 ⁻⁰⁵
Polielectrolito comercial	1,256 10 ⁻⁰⁶
Nitrato amónico comercial	7,5 10 ⁻⁰⁴

Proceso de transesterificación

Las materias primas usadas en el proceso de transesterificación son: aceite refinado, metanol, metóxido de Na como catalizador, agua de proceso, sosa cáustica, vitamina E como antioxidante y un anticongelante comercial (Dodiflow). Se han incluido también las materias primas necesarias para el tratamiento de aguas residuales.

Los datos relativos al consumo de materias primas y de energía así como las emisiones y residuos de la producción de los siguientes compuestos: metanol, ácido fosfórico, ácido clorhídrico, sosa cáustica, sulfato de alúmina y nitrato amónico, se han obtenido de la base de datos EHT-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996), BUWAL (BUWAL 250) y Ecoinvent. Para los datos relativos a la producción de metóxido de sodio se han utilizado los de la publicación "Life cycle inventory of biodiésel and petroleum diésel for use in an urban bus" (Sheehan J. et al 1998).

Los datos relativos a la producción del antioxidante (vitamina E) han sido proporcionados por BASF. Con respecto al anticongelante "Dodiflow" ha sido imposible conseguir los datos asociados a su producción, por lo que se han utilizado los datos de producción de otro anticongelante, el etilenglicol, cuyo inventario está recogido en la base de datos de Ecoinvent.

En la Tabla 23 se muestran los consumos de materias primas referidas a 1 kg de biodiésel obtenido.

Tabla 23: Consumo de materias primas en el proceso de transesterificación

	kg/kg de biodiésel
Aceite refinado	1,02
Metanol	0,06
Metóxido de Na	0,0485
Ácido fosfórico	3,85710 ⁻⁵
Antioxidante (Vit. D)	0,0292
Anticongelante (etilenglicol)	0,025
Agua	0,8775
Sosa cáustica	0,0011
Ácido clorhídrico	0,0052
Sulfato de alúmina	7,32810 ⁻⁵
Polielectrolito comercial	1,28610 ⁻⁶
Nitrato amónico comercial	7,7110 ⁻⁴

Fuente: Acciona

5.4.2 Uso de Energía

Proceso de refinado de aceite

La electricidad y el gas natural son las fuentes de energía utilizadas en el proceso de refinado de los aceites mencionados anteriormente. El uso de electricidad y de gas natural conlleva la emisión de varios contaminantes. En el estudio se han tenido en cuenta dichas emisiones utilizando las bases de datos ETH-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996) y BUWAL (BUWAL 250).

En Tabla 24 se indica el consumo de energía, así como el equivalente en energía primaria, en el proceso de refinado referido a la producción de 1 kg de aceite refinado. Se ha considerado la energía necesaria en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 24: Consumo de energía en el proceso de refinado de aceite de girasol, soja y colza

	Consumo energético (MJ/kg aceite refinado)	Energía primaria (MJ/kg aceite refinado)
Electricidad	0,09	0,20
Gas Natural	0,35	0,35

Proceso de transesterificación

El consumo de energía necesario para la operación de la planta se realiza a través de la red eléctrica y de la red de gas natural. El gas natural se utiliza para la producción de vapor.

Las emisiones asociadas al uso de electricidad y gas natural se obtendrán de la base de datos ETH-ESU 96 (Frischknecht et al, 1996) y BUWAL (BUWAL 250).

En la Tabla 25 se muestra el consumo de electricidad y de gas natural de la planta, así como el consumo de energía primaria equivalente.

Tabla 25: Consumo de energía

	Consumo energético (MJ/kg aceite refinado)	Energía primaria (MJ/kg aceite refinado)
Electricidad	0,06	0,14
Gas Natural	1,44	1,44

Fuente: Acciona

5.5 Reglas de asignación

La planta de biodiésel produce, además del biodiésel, otros dos productos, uno de ellos con valor comercial, y con uso fuera del sistema, que son la glicerina (de dos tipos diferentes según su pureza: industrial y farma) y las pastas jabonosas. La glicerina se produce en el proceso de transesterificación y las pastas jabonosas en el refinado de los aceites de girasol, colza y soja.

Siguiendo la jerarquía de métodos de asignación detallada en la norma UNE-EN-ISO 14040 en el caso de la co-producción de biodiésel y glicerina en el proceso de transesterificación se ha evitado la asignación por medio de la ampliación del sistema producto hasta incluir las funciones adicionales relacionadas con los co-productos. Es lo que se denomina **evitar la asignación por extensión de los límites del sistema**, cuya aplicación específica a nuestro caso se detallará más adelante.

Tal y como indica la norma, es necesario evaluar la influencia de elegir otro sistema de asignación alternativo. En este caso se realizará la **asignación másica** como sistema alternativo y posteriormente se realizará un análisis de sensibilidad que determine la influencia de elegir uno u otro método de asignación.

En cuanto a la co-producción de aceite refinado y pastas jabonosas, se ha realizado también una asignación másica y como método alternativo se ha realizado la **asignación en base al valor económico**. En este método se eligen los valores económicos de los distintos subproductos en el punto en que se separan en el sistema. La aplicación de este método de asignación a nuestro caso particular se detalla más adelante.

5.5.1 Extensión de los límites del sistema.

Este método consiste en tener en cuenta las cargas ambientales correspondientes a la glicerina y restar las cargas ambientales que se producen en sistemas alternativos que proporcionan el mismo servicio que el que proporciona la glicerina. La utilidad de la glicerina es para uso industrial (de menor pureza) y para uso farmacéutico (mayor calidad). Como sistema alternativo a la glicerina de calidad farmacéutica procedente de la producción de biodiésel vamos a considerar la producción de glicerina sintética.

Los valores publicados de consumos energéticos de la producción de glicerina sintética varían mucho. Así, Ahmed et al (1994) dan valores de 49,51 MJ/kg de glicerina aunque incluyendo solo el contenido energético de las materias primas usadas en el proceso. Sin embargo, Scharmer y Gosse (1996) dan valores de 209 MJ/kg de glicerina. Ambas son publicaciones ya antiguas por lo que los valores pueden no estar actualizados. En el estudio publicado por Concawe (Concawe, 2003), el consumo de energía primaria en la producción de glicerina sintética considerado es de 180,4 MJ/kg. En este estudio se han utilizado los valores propuestos por IFEU en el proyecto europeo BIOFIT (IFEU, 2000) que da unos consumos energéticos de 125 MJ/kg de glicerina, a la vez que proporciona datos de emisiones, efluentes y residuos del proceso de producción.

La glicerina de calidad industrial (80% de riqueza en glicerol) no sustituye a la glicerina sintética. Según el estudio de Concawe antes mencionado, esta glicerina podría sustituir al propilenglicol como disolvente y anticongelante. Los consumos energéticos y las cargas ambientales de la producción de propilenglicol se han obtenido de la base de datos Ecoinvent.

5.5.2 Asignación por masas

En este método de asignación se tiene en cuenta la producción de cada producto generado en los procesos considerados en el momento en que se separan del sistema. Las producciones de los distintos co-productos se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 26. Producción de aceite refinado y pastas jabonosas en el proceso de refinado de aceites

	Refino de aceite (kg)
Aceite refinado	1
Pastas jabonosas	0,03615

Tabla 27. Producción de glicerina y biodiésel en el proceso de transesterificación

	Producción de biodiésel (kg)
Biodiésel	1
Glicerina farma	0,0914
Glicerina industrial	0,0046

A partir de estos datos se ha realizado la asignación por masas para todos los productos obtenidos, como puede observarse en las tablas Tabla 28 y Tabla 29.

Tabla 28: Factores de asignación por masas en el proceso de refinado de los aceites de girasol, soja y colza

	Factores de asignación
Aceite refinado	96,59
Pastas jabonosas	3,41

Tabla 29. Factores de asignación obtenidos por el método de asignación de masas en el proceso de transesterificación

	Factores de asignación
Biodiésel	91,24
Glicerina farma	8,34
Glicerina industrial	0,42

5.5.3 Asignación en base al valor económico

En el proceso de refinado de aceites el co-producto obtenido, las pastas jabonosas, no tiene un valor comercial. Éstas se transportan a una instalación que las utiliza, pero solo se cobra por ellas el costo del transporte, por lo que el precio considerado es cero. Por tanto, la totalidad de las cargas ambientales del refinado de los aceites se asignará al aceite refinado.

En el proceso de transesterificación se producen, además del biodiésel, dos calidades de glicerina, la glicerina farma y la glicerina industrial, con dos precios distintos. La información sobre el valor económico de los productos obtenidos en la planta de biodiésel ha sido suministrada por el grupo Acciona.

Precio	€/kg
Biodiésel	0,825-0,850
Glicerina farma	0,385-0,395
Glicerina industrial	0,165

Los factores de asignación obtenidos en base al valor económico se detallan en la Tabla 30.

Tabla 30: Factores de asignación obtenidos por el método de asignación en base al valor económico

Factores de asignación	
Biodiésel	95,83
Glicerina farma	4,08
Glicerina industrial	0,09

5.6 Balance energético

5.6.1 Balance energético del proceso de refino de aceite

En la Tabla 31 se puede observar el consumo de energía primaria total y energía fósil del proceso de refino de aceite, realizando la asignación con el método de asignación por masa.

Tabla 31: Balance energético del proceso de refino de aceite

Energía en las materias primas (MJ/kg aceite refinado)			
	Energía primaria	Renovable	Fósil
ácido fosfórico comercial	5.40E-02	8.37E-04	5.32E-02
sosa cáustica	9.94E-02	5.98E-03	9.94E-02
Tierras de blanqueo	3.16E-02	1.35E-05	3.16E-02
Sulfato de alúmina	6.09E-04	1.22E-05	5.97E-04
Nitrato amónico comercial	3.26E-02	7.57E-05	3.26E-02
	0.22	0.01	0.22
Energía de proceso (MJ/kg aceite refinado)			
Electricidad	0.20	0.15	0.15
Gas natural	0.35	0.35	1.15
	0.55	0.50	2.15
TOTAL	0.77	0.51	2.37

5.6.2 Balance energético del proceso de transesterificación

En la Tabla 32 puede observarse el consumo de energía primaria y energía fósil del proceso de transesterificación, usando los métodos de asignación de extensión de los límites del sistema y de asignación por masas. Al ser la producción de glicerina sintética un proceso que consume mucha energía, el consumo energético de la transesterificación resulta negativo.

Las referencias publicadas dan valores muy variables dependiendo de las hipótesis y en particular del sistema de asignación empleado. Así, hay valores desde 2 MJ/kg biodiésel (Ademe et al, 2002; Edwards, R., Griesemann, J-C., Larivé, J-F. Y Mahieu, V., 2003; Brandberg, A., et al 1992) hasta alrededor de 5 MJ/kg (Ceuterick, D. y Spirinckx, C. 1997; Sheehan et al, 1998; Ahmed, et al, 1994)

Tabla 32: Balance energético del proceso de transesterificación

Energía en las materias primas (MJ/kg biodiésel)			
	Energía primaria	Renovable	Fosil
metanol	3,81	0,00	3,81
catalizador (CH ₃ ONa)	1,56 10 ⁻¹	2,16 10 ⁻³	1,54 10 ⁻¹
antioxidante (vitamina E)	0,93		0,93
anticongelante (etilenglicol)	0,12	0,001	0,117
sosa cáustica	0,02	0,001	0,02
acido clorhídrico	0,10	0,01	0,10
sulfato de alúmina	0,00062	0,00001	0,00061
nitrato amónico comercial	0,03	0,0001	0,03
acido fosfórico comercial	0,0007	0,00001	0,0007
	5,18	0,01	5,17
Energía de proceso (MJ/kg biodiésel)			
Electricidad	0,14	0,04	0,10
Gas natural kg	1,44	0,00	1,44
	1,58	0,04	1,54
TOTAL	6,76	0,05	6,71
Asignación extensión de los limites del sistema			
Productos			
	MJ evitados/kg biodiésel		
Glicerina farmaceutica	-11,57	-0,13	-11,44
Glicerina industrial	-0,43	-0,01	-0,42
TOTAL después de asignación	-5,25	-0,09	-5,15
Asignación en base al precio			
Productos			
Biodiésel	95.84%	1	
Glicerina farmaceutica	4.08%	0,0914	
Glicerina industrial	0.09%	0,0046	
TOTAL después de asignación		6,48	6,43

6 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE ACEITES VEGETALES USADOS

6.1 Fuentes de datos

Los datos del proceso de recogida de los aceites vegetales usados para el análisis de inventario han sido suministrados directamente por la empresa ECOGRAS, de acuerdo con el sistema de recogida, transporte y almacenamiento establecido en Navarra y País Vasco.

6.2 Descripción cualitativa del proceso de recogida y tratamiento de aceites vegetales usados

El aceite vegetal usado es un residuo no peligroso, catalogado en el Catálogo Europeo de Residuos (CER) con el código CER 20 01 52. Este residuo se produce principalmente en hogares, servicios de hostelería, actividades industriales, hospitales y servicios de catering, entre otros.

Por su calidad de residuo, debe ser tratado como tal, ya que un tratamiento inadecuado puede producir un incremento en las tareas de tratamiento de aguas residuales.

Cuando los residuos se producen en los hogares, el aceite debe ser depositado en los puntos limpios ubicados por los ayuntamientos para facilitar la gestión de ciertos residuos al ciudadano. A partir de aquí, el ayuntamiento será el que encargue la gestión del residuo a un gestor autorizado por su comunidad.

Cuando el aceite vegetal usado se genera en instalaciones industriales, como las mencionadas anteriormente, la ley 10/1998 de residuos obliga a que un gestor de residuos autorizado se haga cargo del mismo.

En este estudio, el aceite vegetal usado es gestionado por ECOGRAS Recuperación y Reciclado S.L. gestor autorizado de dicho residuo. El proceso llevado a cabo por el gestor puede separarse en dos etapas principales: recogida y transporte del aceite y tratamiento. En la Figura 16 se muestra un esquema del proceso.

6.2.1 Recogida y transporte de aceite vegetal usado

El gestor del residuo proporciona a los generadores de aceite bidones de 50 litros de capacidad donde deberán almacenar el residuo hasta que sea retirado. Cuando los bidones han alcanzado su máxima capacidad, el gestor acude a su recogida y sustituye los bidones llenos por nuevos bidones.

El transporte se realiza en camiones de capacidad variable según la necesidad.

6.2.2 Tratamiento del aceite vegetal usado

Cuando el camión llega a la planta de tratamiento, los bidones se introducen en la zona de descarga. Esta zona cuenta con una rejilla de acero inoxidable donde se coloca el bidón abierto en posición invertida. El interior del bidón se calienta con un chorro de vapor vivo para asegurar el vaciado total del mismo.

Una vez vaciados, los bidones se introducen en una máquina automática de limpieza para que puedan utilizarse de nuevo.

La limpieza con vapor origina una corriente de agua sucia con restos de grasas y detergentes, que es bombeada a un tanque.

El aceite descargado de los bidones se lleva por un canal hacia un tornillo prensa. El equipo dispone de una malla de 2 mm por la que fluye el aceite. En esta malla quedan atrapados los sólidos contenidos en el aceite, que se eliminan de manera continua por un sinfín que barre la superficie de la malla. El poco aceite arrastrado con los sólidos vuelve al canal de aceite durante el ascenso de éstos por el sinfín. Finalmente, los sólidos secos son descargados a un contenedor, donde son retirados por un gestor autorizado.

El aceite libre de sólidos es bombeado hacia los tanques de decantación diaria donde, con un sistema de calentamiento mediante vapor, se aumenta la temperatura del aceite hasta 60 C°. El calentamiento permite, por decantación, separar el agua del aceite, cayendo dicha agua al tanque de agua mencionado anteriormente.

El aceite decantado se traspasa de los tanques de decantación diaria al tanque de almacenamiento final con bombas de trasiego.

En el separador de grasas se ha depositado el agua decantada de los tanques y el agua de limpieza. Aquí, se separa finalmente el aceite que pueda contener este agua.

El aceite acumulado en el tanque de almacenamiento final se descarga a un camión cisterna mediante bombas de trasiego cuando va a ser transportado a la planta de producción de biodiésel.

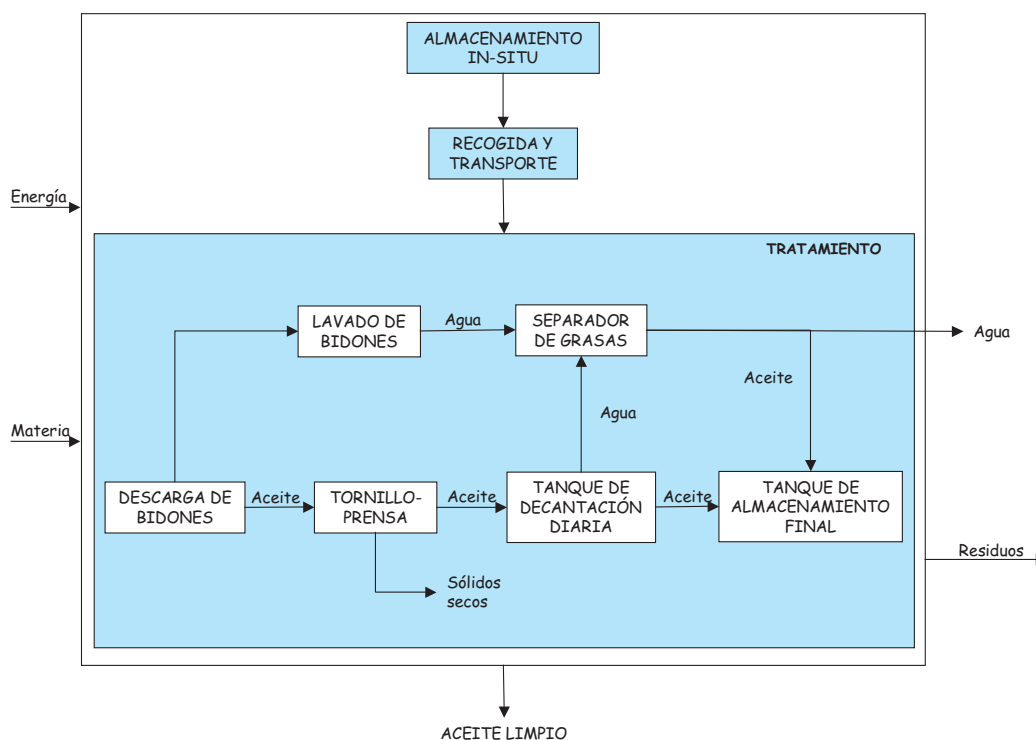


Figura 16. Esquema cualitativo de los procesos asociados a la recogida y tratamiento del aceite vegetal usado

6.3 Descripción cuantitativa del proceso de recogida y tratamiento de aceites vegetales usados. Procedimientos de cálculo

6.3.1 Recogida y transporte de aceite vegetal usado

Según la cantidad a recoger, de acuerdo con las rutas establecidas y el volumen de recogida, se utilizan 2 camiones de 6500 kg y 2 de 5200 kg y 10 furgonetas de menos de 3500 kg de capacidad.

ECOGRAS ha suministrado datos de poblaciones dónde se realiza la recogida de los aceites usados, y de la cantidad anual recogida. Dado el gran número de poblaciones dónde se realiza la recogida de los aceites usados fritos y la imposibilidad de conocer las rutas realizadas asociadas con la cantidad de aceite transportado en cada momento, se ha decidido utilizar como

soporte para este análisis un sistema de información geográfica, ArcGIS versión 9.0, para el cálculo de las distancias medias, considerando Alsasua como el punto central de recogida de los aceites.

En el análisis se han utilizado diferentes capas de GIS: Alsasua como punto central de recogida de los aceites, poblaciones donde se recoge el aceite y mapa de carreteras. Se ha estimado el camino más corto entre cada punto de recogida y Alsasua, sobre la capa del mapa de carreteras. En aquellas ocasiones en las cuales las poblaciones dónde se recoge el aceite no aparecen asociadas a ninguna carretera, se ha estimado la distancia mínima entre cada población y la carretera más cercana con una nueva versión del ArcGIS, la 9.1, que permite la realización de este análisis. Una vez halladas las distancias mínimas entre cada población y Alsasua, se ha calculado la distancia media recorrida para la recogida del aceite. Considerando el viaje de ida y vuelta, esta distancia se sitúa en 151,5 km,. En el siguiente mapa se recoge de forma gráfica el análisis realizado con ArcGIS (con la colaboración de Markus Biberacher).

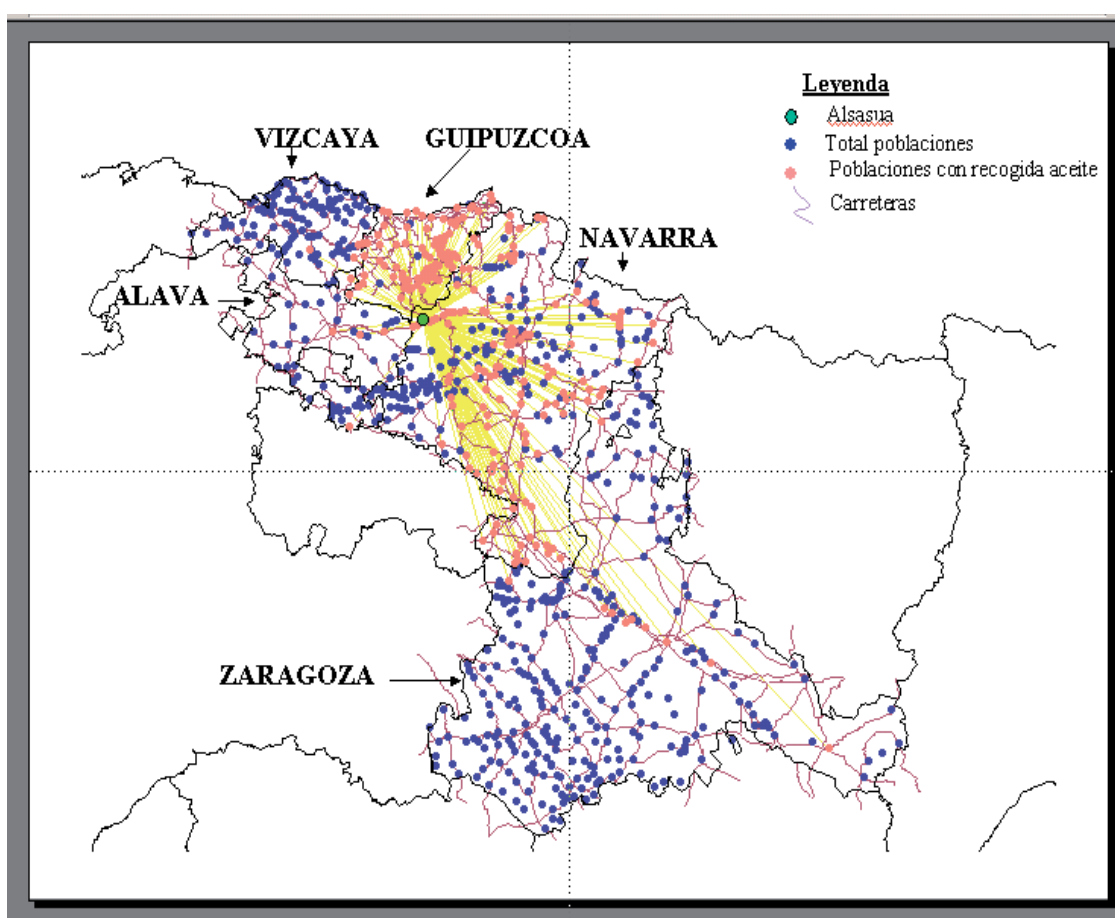


Figura 17. Poblaciones con recogida de aceite usado

Uso de energía y emisiones

La energía y cargas asociadas al proceso de recogida del aceite vegetal usado se estiman calculando las necesidades de transporte anuales expresadas en tkm, y utilizando los datos contenidos en la base de datos ETH (Frischknecht et al. 1996). Dicha base de datos incluye determinados medios de transporte, entre ellos furgonetas de reparto que son las consideradas en este estudio. Las cargas ambientales de cada medio de transporte se calculan en función de las emisiones y los consumos de combustible del vehículo en cuestión considerando que los vehículos van vacíos en el trayecto de ida y a plena carga en el trayecto de vuelta.

Teniendo en cuenta la distancia de cada población a Alsasua calculada anteriormente y la cantidad de aceite recogido en cada población, las necesidades de transporte calculadas son de **0,514 tkm/kg** de aceite recogido.

6.3.2 Tratamiento del aceite vegetal usado

Uso de energía y emisiones

Las fuentes de energía utilizadas en el proceso de reciclado del aceite vegetal usado son la electricidad y el gasoil. El gasoil se utiliza en una caldera para producir el vapor de agua que se utiliza en la limpieza de los bidones de aceite. Las emisiones asociadas al uso del gasoil en la caldera se han calculado siguiendo la metodología propuesta por la EPA en AP-42 (EPA, 2003). El uso de electricidad también lleva asociadas unas emisiones que se han cuantificado utilizando la base de datos Ecoinvent y utilizando el esquema de generación del año 2004.

Tabla 33: Consumo de energía en el proceso de reciclado de aceites

	Consumo energético (MJ/kg aceite reciclado)	Energía primaria (MJ/kg aceite reciclado)
Electricidad	0,036	0,09
Gasoil	0,35	0,35

Las cargas ambientales de todos estos transportes se han obtenido usando la base de datos ETH (Frischknecht et al. 1996).

6.4 Reglas de asignación

La información recabada sobre el proceso de recogida de aceites vegetales usados indica que los productores no reciben una compensación económica por dichos aceites, aunque puedan tener un uso posterior como materias primas de producción de biodiésel o jabón, sino que el tratamiento que se le da al producto es el de gestión de un residuo. Siguiendo las reglas de asignación propuestas por Weidema (2001), sería de aplicación la regla 3, según la cual la recolección del aceite usado y su posterior tratamiento se adscribiría al proceso de producción de biodiésel pero se le habrían de restar las cargas evitadas del tratamiento de este aceite como un residuo.

6.4.1 Gestión del aceite como un residuo. Cargas evitadas

En nuestro caso, según la información recabada, un tratamiento posible de este residuo puede ser su valorización en la industria del cemento. En los últimos años se ha desarrollado legislación nacional y europea tendente al aprovechamiento energético de los residuos. El sector cementero europeo ha optado por la valorización de residuos con dos objetivos, reducir el consumo de combustibles fósiles no renovables y diversificar sus fuentes de energía, utilizando estos combustibles alternativos derivados de residuos en proporciones superiores al 12% con respecto al combustible total empleado.

Las emisiones procedentes de estos combustibles secundarios en las cementeras se consideran similares a los que se desprenden cuando utilizan los combustibles fósiles tradicionales (carbón, diésel de combustión y gas natural) (Cardim de Carvahlo, 2001). Por ello, en nuestro estudio se utilizarán los datos de emisiones de cementeras recogidas en EPER

(<http://www.eper.cec.eu.int/eper/>). Se han seleccionado las cementeras más cercanas a cada punto de recogida de aceite siendo estas las cementeras de Olazagutia y Añorga. La distancia media de transporte se ha estimado en 76 km y las necesidades de transporte calculadas son 0,076 tkm por kg de aceite recogido. Estas necesidades de transporte se restarán de las necesidades de transporte del proceso de reciclado de aceites vegetales usados.

Considerando que el consumo energético necesario para la fabricación de una tonelada de cemento se estima en 850 kcal/kg de clinker y teniendo en cuenta la producción total anual de las cementeras consideradas, se ha estimado el porcentaje de energía que se puede obtener a partir del aceite frente al total consumido en la cementera. Este porcentaje se sitúa en el 0,52% en el caso de la cementera de Olazagutia y en el 0,11% en el caso de la cementera de Añorga. Estos porcentajes serán los que se aplicarán para el cómputo de las emisiones procedentes de las cementeras a partir de los datos de EPER. Estas emisiones se restarán de las emisiones del proceso de reciclado de aceites vegetales usados.

7 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE ACEITES VEGETALES USADOS HASTA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

7.1 Fuentes de datos

Para calcular las necesidades de transporte de los aceites vegetales usados hasta la planta de producción de biodiésel se han estimado unas distancias de transporte considerando que la planta de transformación a biodiésel es la situada en Berantevilla (Alava) propiedad de BIONOR TRANSFORMACIÓN y la central de recogida de aceites usados de la empresa ECOGRAS se sitúa en Alsasua (Navarra).

7.2 Descripción cualitativa del proceso de transporte de aceites vegetales usados hasta la planta de producción de biodiésel

Los aceites usados recogidos son transportados por carretera en camiones cisterna desde la central de recogida en Alsasua hasta la planta de biodiésel en Berantevilla, una distancia estimada de 80 km.

7.3 Descripción cuantitativa del proceso de transporte de aceites vegetales usados hasta la planta de producción de biodiésel

Las necesidades de transporte calculadas para los aceites usados se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34. Necesidades de transporte de los aceites usados hasta la planta de producción de biodiésel

modo	tkm/kg biodiésel
Camión 28t	0,165

7.4 Procedimientos de cálculo

Las cargas ambientales de todos estos transportes se han obtenido usando la base de datos ETH (Frischknecht et al. 1996).

7.5 Balance energético

La energía consumida en estos transportes se muestra en la Tabla 35

Tabla 35. Energía consumida en el transporte de los aceites usados hasta la planta de producción de biodiésel

modo	MJ/kg biodiésel
Camión 28t	0,585

8 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL DE ACEITES VEGETALES USADOS

8.1 Fuentes de datos

Los datos necesarios para la realización de este inventario han sido facilitados por la empresa BIONOR TRANSFORMACIÓN S.A y corresponden a la planta situada en Berantevilla (Álava). La empresa BIONET EUROPA S.L. ha proporcionado también datos de su proceso de producción en la planta de Reus (Tarragona). En principio se han tomado los datos de BIONOR como caso ejemplo para nuestro estudio, aunque se muestran también los datos correspondientes a la planta de BIONET para comparar ambos procesos.

8.2 Descripción cualitativa del proceso

En la Figura 18 se muestra el esquema del proceso de transesterificación del aceite vegetal usado tal y como se produce en la planta de BIONOR TRANSFORMACIÓN S.A.

La planta de producción de biodiésel de BIONOR TRANSFORMACIÓN S.A. está situada en Berantevilla, Álava. La capacidad de producción de la planta es de 30.000 t de biodiésel al año. El aceite vegetal usado se recibe desde los centros de recuperación y reciclado de aceites, se limpia en un proceso de centrifugación y se seca. Se determina la pureza del aceite, que establece el proceso de tratamiento del mismo.

La calidad del aceite recibido viene definida por su acidez, expresada en gramos de ácidos libres por cada 100 gramos de aceite.

Cuando la acidez del aceite recibido es superior al 4%, se procede a la esterificación de dicho aceite. Si la acidez del aceite es inferior al 4%, se transesterifica.

8.2.1 Esterificación

El proceso de esterificar consiste en la formación de un éster, en este caso el metil-éster, mediante la unión de un ácido graso y un alcohol. Además se añade ácido sulfúrico que actúa como catalizador en la reacción. El éster obtenido se lava, se seca y se almacena ya como biodiésel hasta su expedición.

Tras el lavado se obtiene una corriente ácida y aguas de lavado que contienen ácidos grasos libres, metanol sobrante y ácido sulfúrico. Ambas corrientes se tratarán en la unidad recuperadora de metanol y de glicerina.

8.2.2 Transesterificación

Una vez secado el aceite se introduce en un tanque al que se le añade metanol e hidróxido de potasio. La reacción de ambas sustancias produce metil-éster y glicerina. El éster se lava con agua acidulada, se filtra, se seca y se almacena en el mismo tanque que el éster producido por esterificación.

La glicerina, junto con las aguas de lavado, se trata en la unidad recuperadora de metanol y glicerina.

8.2.3 Unidad recuperadora de metanol y de glicerina

En esta unidad se tratan:

- la corriente ácida obtenida del lavado del éster en el proceso de esterificación.
- las aguas de lavado del éster obtenido en el proceso de transesterificación.
- la glicerina obtenida en el proceso de transesterificación.

La unidad recuperadora de metanol es un evaporador que separa por un lado, el metanol y el agua acidulada, y por otro, los ácidos grasos y la glicerina bruta. Los ácidos grasos obtenidos se incorporan nuevamente en la etapa de esterificación para aumentar la producción de biodiésel. La glicerina se vende como co-producto.

El metanol y el agua acidulada se introducen en una columna de rectificación donde ambos se separan. El metanol es recuperado y vuelve a utilizarse tanto en la etapa de esterificación como en la de transesterificación. El agua acidulada finalmente termina con la glicerina, haciendo que el contenido de ésta en glicerol sea bajo (35%).

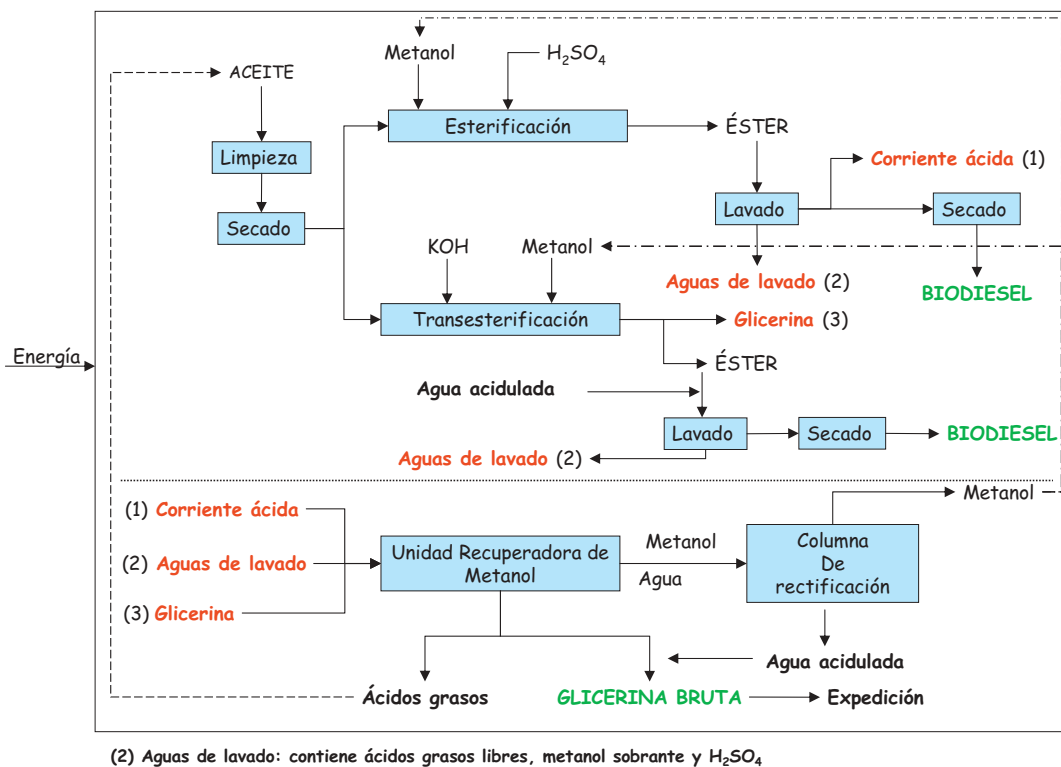


Figura 18: Esquema cualitativo de los procesos de esterificación y transesterificación

8.3 Descripción cuantitativa del proceso

En la Figura 19 se muestra el diagrama del proceso de transesterificación de aceites vegetales usados con el consumo de materias y energías asociado a dicho proceso.

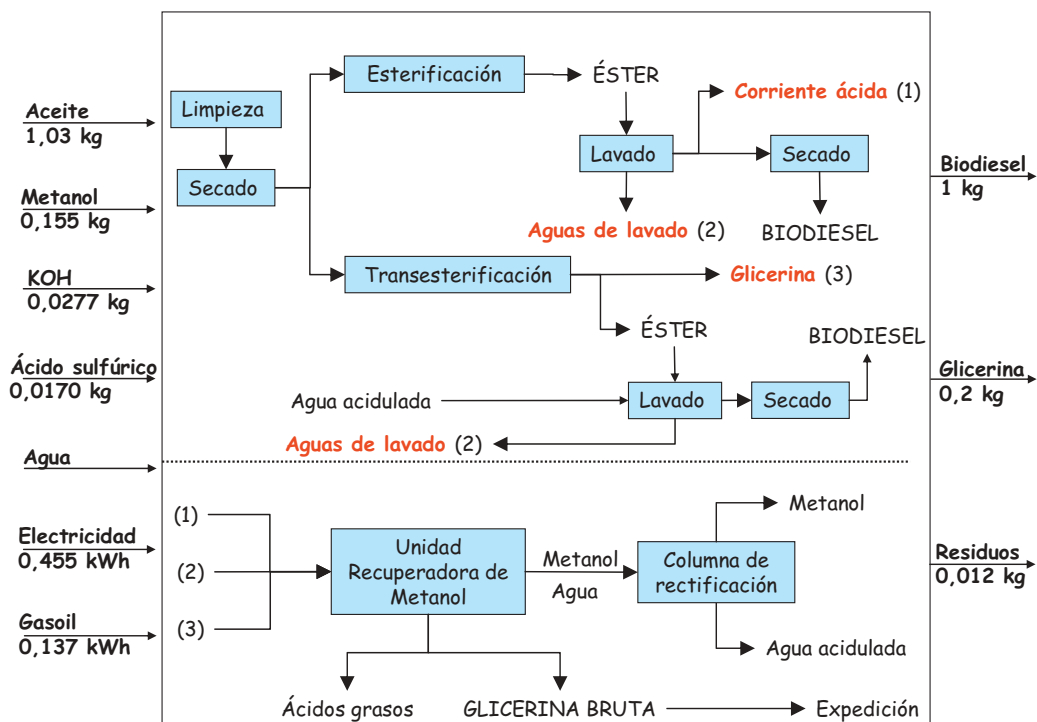


Figura 19: Esquema cuantitativo de los proceso de esterificación y transesterificación de aceites vegetales usados

8.4 Procedimiento de cálculo

8.4.1 Materias primas

En el proceso de transesterificación, las principales materias primas son el aceite vegetal usado y el metanol. Sin embargo también se añaden, aunque en menores cantidades, otras sustancias como ácido sulfúrico, hidróxido de potasio y agua.

Los datos referidos a la producción de estas materias primas, como su consumo, consumo de energía, emisiones y residuos, se obtendrán de la base de datos EcoInvent (www.ecoinvent.ch).

En la Tabla 36 se muestran los consumos de materias primas referidos a la producción de 1 kg de biodiésel en la planta de BIONOR (considerada como referencia) y en la planta de BIONET (introducida a efectos de comparación).

Tabla 36: Consumo de materias primas en el proceso de transesterificación de las plantas de BIONOR y BIONET

	BIONOR kg/kg de biodiésel	BIONET kg/kg de biodiésel
Aceite	1,03	1,09
Metanol	0,155	0,16
KOH	0,0277	0,008
H ₂ SO ₄	0,0170	0,018
Aditivos		0,004

8.4.2 Uso de energía y emisiones

Las fuentes de energía utilizadas en el proceso de transesterificación de aceites vegetales usados en el proceso de producción de la planta de BIONOR son la electricidad y el gasoil. Éste se quema en una caldera de tipo piro-tubular. Las cantidades de energía utilizadas en el proceso han sido facilitadas por la propia empresa y se muestran en la Tabla 37. Adicionalmente se facilitan los consumos energéticos declarados por la empresa BIONET para su planta de producción de biodiésel en Reus. El consumo de esta energía lleva asociadas emisiones que se han tenido en cuenta utilizando la metodología descrita en AP-42 (EPA, 2003) y con la base de datos EcoInvent (www.ecoinvent.ch).

Tabla 37: Consumo de energía en el proceso de transesterificación

	BIONOR		BIONET	
	Consumo energético (MJ/kg biodiésel)	Energía primaria (MJ/kg biodiésel)	Consumo energético (MJ/kg biodiésel)	Energía primaria (MJ/kg biodiésel)
Electricidad	0,00036	0,00081	0,09	0,20
Gasoil	0,49	0,49		
Gas natural			0,19	0,19
Total		0,49		0,39

8.5 Reglas de asignación

La planta de biodiésel de BIONOR produce, además del biodiésel, otro producto con valor comercial y con uso fuera del sistema, que es la glicerina. En el caso de la planta de BIONET, se produce además K_2SO_4 que tiene uso como fertilizante fuera del sistema. Las cantidades de los distintos co-productos originados se resumen en la Tabla 38.

Tabla 38: Co-productos originados en la producción de biodiésel

	BIONOR (kg/kg biodiésel)	BIONET (kg/kg biodiésel)
Bidiésel	1	1
Glicerina industrial	0,0875*	0,075
K_2SO_4	-	0,0497

* La cantidad de glicerina producida en BIONOR es de 0,2 kg/kg de biodiésel pero esta glicerina tiene tan solo una pureza de un 35% en glicerol. Para poder asumir que sustituye a glicerina de calidad industrial se ha calculado la cantidad de glicerina del 80% de riqueza que se produciría. En esta estimación no se ha tenido en cuenta (por falta de datos) el incremento de energía necesario para esta destilación adicional.

Siguiendo la jerarquía de métodos de asignación detallada en la norma UNE-EN-ISO 14040 en el caso de la co-producción de biodiésel y glicerina en el proceso de transesterificación se ha evitado la asignación por medio de la ampliación del sistema producto hasta incluir las funciones adicionales relacionadas con los co-productos. Es lo que se denomina evitar la **asignación por extensión de los límites del sistema**, cuya aplicación específica a nuestro caso se detallará mas adelante.

Tal y como indica la norma es necesario evaluar la influencia de elegir otro sistema de asignación alternativo. En este caso se realizará la **asignación másica** como sistema alternativo y posteriormente se realizará un análisis de sensibilidad que determine la influencia de elegir uno u otro método de asignación.

8.5.1 Asignación por extensión de los límites del sistema.

Este método consiste en tener en cuenta las cargas ambientales correspondientes a la glicerina y restar las cargas ambientales que se producen en sistemas alternativos que proporcionan el mismo servicio que el que proporciona la glicerina.

La glicerina de calidad industrial (80% de riqueza en glicerol) no sustituye a la glicerina sintética. Según un estudio publicado por Concawe (Concawe, 2003), esta glicerina podría sustituir al propilenglicol como disolvente y anticongelante. Los consumos energéticos y las cargas ambientales de la producción de propilenglicol se han obtenido de la base de datos Ecoinvent (www.ecoinvent.ch).

En cuanto al sulfato potásico producido, los consumos energéticos y las cargas ambientales de su producción fuera del sistema se han obtenido de la base de datos Ecoinvent (www.ecoinvent.ch).

8.5.2 Asignación másica

El parámetro relevante que se utiliza para realizar la asignación de las cargas ambientales es la cantidad producida de cada co-producto en el momento en el que se separan del sistema estudiado.

En la **Tabla 39** se muestran las cantidades producidas de cada co-producto en el proceso de transesterificación, incluyendo dentro de éste la esterificación y los factores de asignación que corresponden a estas cantidades.

Tabla 39: Factores de asignación másica

	BIONOR		BIONET	
	Cantidad producida (kg)	Factores de asignación	Cantidad producida (kg)	Factores de asignación
Biodiésel	1	91,95	1	88,91
Glicerina	0,875	8,05	0,075	6,67
K ₂ SO ₄			0,0497	4,42

8.6 Balance energético

En la Tabla 32 puede observarse el consumo de energía primaria y energía fósil del proceso de transesterificación, usando los métodos de asignación de extensión de los límites del sistema y de asignación por masas.

Tabla 40: Balance energético del proceso de transesterificación

Energía en las materias primas (MJ/kg biodiesel)			
	Energía primaria	Renovable	Fosil
Aceite usado	10.30	10.30	0.00
metanol	5.57E+00	0.01	5.57
catalizador (KOH)	4.03E-01	0.01	0.40
anticongelante (H ₂ SO ₄)	0.03	0.00	0.03
	16.31	10.31	6.00
Energía de proceso (MJ/kg biodiesel)			
Electricidad	8.13E-04	2.27E-04	5.87E-04
Gasoil	0.49	0.00	0.49
	0.49	0.00	0.49
TOTAL	16.80	10.31	6.49
Asignación extensión de los límites del sistema			
Productos	MJ evitados/kg biodiesel		
Glicerina industrial	-8.19	-0.14	-8.05
TOTAL después de asignación	8.61	10.17	-1.56
Asignación en base a la masa			
Productos			
Biodiesel	91,95%	1	
Glicerina	8,05%	0.0875	
TOTAL después de asignación		15.45	9.48
			5.97

9 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE DEL CRUDO

9.1 Principales hipótesis y limitaciones

9.1.1 Fuentes de datos.

Los datos se han obtenido directamente de la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP) según un formulario de recogida de datos.

Para elaborar el inventario de la extracción del crudo se han utilizado además datos publicados por la Administración de Información de Energía de Estados Unidos (EIA), la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) y las referencias bibliográficas citadas.

Se ha considerado el proceso de producción de diésel en una refinería de tipo FCC (Fluid Catalytic Cracking) que son las refinerías complejas más comunes en España. Los datos utilizados corresponden a la refinería de Algeciras propiedad de la empresa CEPSA.

9.1.2 Origen del crudo procesado

El origen del crudo procesado en la refinería considerada se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41: Origen del crudo procesado en la refinería considerada

Oriente Medio	47,40%
Sur América	0,29%
Caribe	2,99%
Nigeria	7,89%
Resto del Oeste de África	3,47%
Norte de África	10,73%
Rusia (Báltico)	23,43%
Rusia (Mar Negro)	2,61%
Otros (Francia)	1,19%

La cantidad total de crudo procesado por esta refinería es de 11.551.545 t.

9.1.3 Sistemas de extracción de petróleo.

Dependiendo del origen del crudo se utiliza uno u otro tipo de extracción. Se han utilizado los datos proporcionados por Delucchi (Delucchi 2003) sobre porcentajes de utilización de cada método de extracción para los distintos orígenes que se muestran en la **Tabla 42**

Tabla 42. Porcentajes de utilización de los distintos métodos de extracción de crudo según orígenes

	Campo petrolífero	Plataformas marinas	Inyección de vapor
Oriente Medio	85	15	0
Sur América	80	20	0
Caribe	40	30	30
Nigeria	80	20	0
Resto del Oeste de África	80	20	0
Norte de África	80	20	0
Rusia (Báltico)	50	50	0
Rusia (Mar Negro)	50	50	0
Mar del Norte	5	95	0
Otros (Francia)	80	20	0

Teniendo en cuenta estos datos y los porcentajes de crudo que viene de cada uno de los orígenes (ver Tabla 41), se han calculado los porcentajes globales de cada tipo de extracción. Estos porcentajes son los siguientes:

- extracción en campo petrolífero: 73,36%
- extracción en plataforma marina: 25,74%
- extracción con inyección de vapor: 0,90%

9.2 Descripción cuantitativa y cualitativa del proceso

En la Figura 20 se muestra un esquema de los procesos implicados en la extracción y transporte del crudo.

Previa a la extracción del petróleo está la etapa de exploración para descubrir los lugares en los que existen yacimientos. Esta etapa consiste en la realización de estudios geológicos de superficie y del subsuelo. La extracción del petróleo se realiza mediante la perforación de pozos y la extracción del fluido que llena los pozos mediante una tubería de producción o tubing. Este

fluido es una mezcla de hidrocarburos líquidos, gases, agua y otras impurezas. Fundamentalmente, el petróleo es separado del agua en instalaciones de acondicionamiento del crudo. Parte del gas que acompaña al petróleo es aprovechado en la propia instalación extractiva como combustible. El resto se puede tratar y canalizar mediante una tubería, quemar, liberar o reinyectar en el pozo dependiendo de las condiciones de los yacimientos. La extracción del petróleo puede realizarse en tierra firme, o en plataformas marinas dependiendo de la localización de los yacimientos. Para aumentar la rentabilidad de un yacimiento se pueden utilizar varios sistemas de inyección, entre ellos la inyección de vapor.

El crudo se transporta de los campos o plataformas marítimas de petróleo a los depósitos portuarios mediante oleoductos. A lo largo del oleoducto hay instaladas estaciones de bombeo, que en condiciones normales se encuentran situadas a 50 kilómetros unas de otras. El diámetro de la tubería de un oleoducto varía entre 10 centímetros y 1 metro. Una vez que el crudo llega al depósito portuario, se embarca en los buques tanque. En España sólo se recibe crudo por vía marítima, incluidas las escasas toneladas de origen nacional que se producen en plataformas marítimas y que son descargadas en barcos cisterna que van y vuelven desde la plataforma a la refinería.

El crudo llega a los puertos españoles en distintos tipos de buques tanque. La elección del buque tanque se hace por razones de tipo económico, escogiendo el de mayor capacidad que pueda entrar en el puerto de destino, donde la limitación suele ser el calado. En el caso de la refinería de Algeciras y según datos proporcionados por AOP el tamaño de los buques tanque es de 320000 t. Cuando el buque tanque llega al puerto de destino se realiza la descarga. La refinería está en la costa y tiene un muelle donde se realiza la descarga del buque tanque. Una vez realizada la descarga, se ha considerado que los buques tanque vuelven al puerto de procedencia sin crudo ni otros productos.

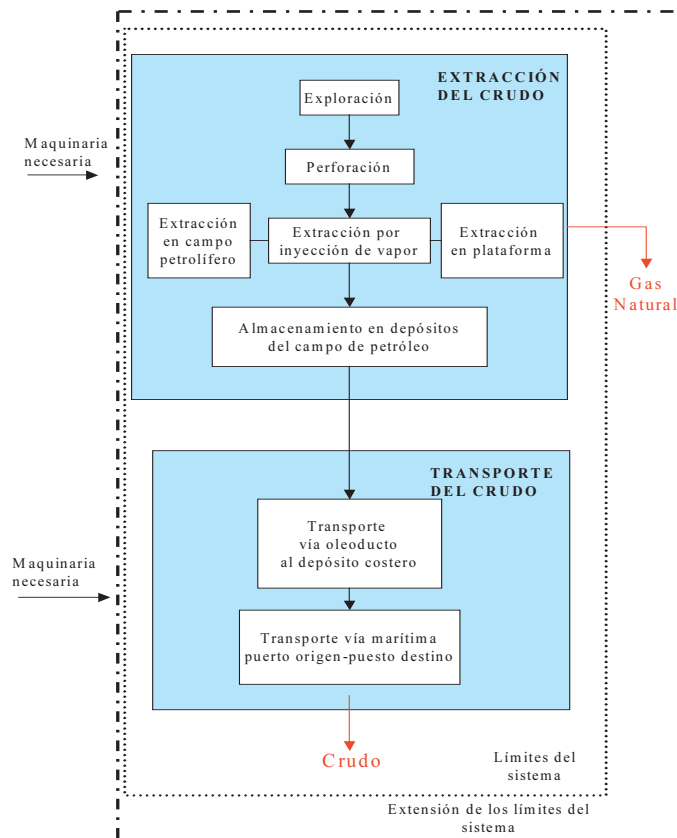


Figura 20. Esquema de los procesos implicados en la extracción y transporte del crudo.

Fuera de los límites del sistema quedan los procesos de fabricación de toda la maquinaria utilizada para la extracción y transporte del crudo.

9.3 Procedimientos de cálculo

9.3.1 Exploración y perforación de los pozos

Se ha tenido en cuenta la energía necesaria para la exploración y la perforación de los pozos, que ha sido estimada en un 0,75% de la energía contenida en el crudo extraído en el caso de la extracción en campo petrolífero y un 7,5% en el caso de la extracción en plataformas marinas (Sheehan, J. et al, 1998).

9.3.2 Uso de energía y emisiones en la extracción del petróleo en campo petrolífero.

Energía

La energía requerida para la extracción en campo petrolífero está basada en un estudio realizado por el Departamento de Agricultura y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (Sheehan, J. et al, 1998). La energía utilizada proviene de dos fuentes:

- Electricidad: 78,6764 Kwh./ t de crudo utilizada para el bombeo.
- Gas Natural: 38,2353 MJ/ t de crudo utilizada para la recuperación del crudo.

Emisiones al aire

Las emisiones al aire que se producen en la extracción tienen diferentes orígenes:

- la combustión del gas natural para obtener la energía necesaria para el proceso de separación del gas natural y el crudo,
- el gas natural que bien se libera o se quema.

El factor de emisión en el caso de la combustión del gas natural se estima utilizando los factores de emisión de las calderas industriales propuestos por la EPA (EPA AP-42).

A partir de estimaciones de Delucchi (Delucchi, 2003) sobre las cantidades de gas que se quema y se libera para cada país por cantidad de crudo producido se obtienen los datos sobre el gas quemado y gas liberado. Se asume que todo el gas natural que se libera es metano. Las emisiones debidas a la quema de gas natural se basan en los factores de emisión de los quemadores industriales propuestos por la EPA(EPA AP-42).

Las emisiones debidas a la volatilización del crudo durante la extracción se han estimado mediante factores de emisión propuestos por la EPA (EPA 1990) y teniendo en cuenta una productividad media de los pozos de 1555 kg de crudo por día y por pozo (EIA 1995b).

9.3.3 Uso de energía y emisiones en la extracción del petróleo en plataformas marinas

Energía

El Departamento de Agricultura y el Departamento de Energía de los Estados Unidos estimaron mediante el estudio de 18 plataformas los siguientes consumos energéticos que se han utilizado para este estudio:

- Gas Natural: 285,294 MJ/ t de crudo utilizado para la recuperación del crudo.
- Gas Natural: 710,294 MJ/ t de crudo utilizado para electricidad, bombeo, etc.

Emisiones al aire

Respecto a las emisiones al aire debidas a la extracción se pueden diferenciar las debidas a:

- la combustión de gas natural en separadores de gas y crudo,
- la combustión de gas natural para generación de electricidad en las turbinas,
- el gas natural que se libera y el que se quema.

Las emisiones en el caso de la combustión del gas natural se estiman utilizando el factor de emisión de las calderas industriales (EPA AP-42).

Para el cálculo de las emisiones debidas al uso de gas natural para la producción de electricidad en las turbinas se han utilizado los factores de emisión de las turbinas de gas (EPA AP-42).

Las emisiones debidas al quemado del gas y al que se libera son las mismas que para la extracción en tierra. A partir de la cantidad anual de crudo y gas natural producido por cada país (<http://www.eia.doe.gov>) se obtiene una relación entre la cantidad de gas natural producida y la cantidad de crudo extraído. DeLucchi estimó las fracciones de gas que se quema y las fracciones de gas que se libera para cada país. Aplicando dichas fracciones a las cantidades reales de gas producidas se obtienen los datos sobre el gas quemado y gas liberado. Se asume que todo el gas natural que se escapa es metano. Las emisiones debidas a la quema de gas natural se basan en los factores de emisión de los quemadores industriales propuestos por la EPA(EPA AP-42).

9.3.4 Uso de energía y emisiones en la extracción del petróleo por inyección de vapor

Energía

El gasto energético necesario para la extracción de crudo por inyección de vapor ha sido estimado según el DOE en:

- Electricidad: 83,088 kWh/ t de crudo utilizada para bombeo.
- Gas Natural: 7250 MJ/ t de crudo utilizado para la recuperación de crudo y para la caldera de vapor.

Se supone que todo el vapor se produce en las calderas de gas natural cuyo combustible es el gas natural asociado.

Emisiones al aire

Las emisiones al aire producidas durante la extracción por inyección de vapor provienen de la combustión del gas natural en las calderas, que se estiman utilizando los factores de emisión de la EPA para calderas industriales (EPA, AP-42).

9.3.5 Uso de energía y emisiones asociadas al transporte de crudo vía oleoducto del campo de petróleo al puerto de origen

El consumo de energía en el transporte por oleoductos se debe, principalmente, a las estaciones de bombeo, el resto de componentes de los oleoductos supone una mínima parte. El combustible utilizado por las bombas suele variar en función del país de origen del crudo. Para nuestro estudio, se ha supuesto que la fuente de energía para el bombeo es la electricidad.

De acuerdo con GEMIS (GEMIS, 2002), se ha estimado un consumo medio energético para el transporte de crudo vía oleoducto de 0,016667 kWh/t.km.

La longitud de la red de oleoductos de los países miembros de la OPEC se ha obtenido en la página web www.opec.org. En los casos en los que no ha sido posible conocer las longitudes de los oleoductos, se ha realizado una estimación de la distancia existente entre el campo de extracción del crudo y el puerto de origen.

El uso de electricidad da lugar a emisiones que se han tenido en cuenta al utilizar la base de datos ETH (Frischknecht et al, 1996).

Además, en los oleoductos, de manera habitual, se producen pérdidas de crudo. Estas pérdidas tienen origen en la corrosión, el uso frecuente o los accidentes. Un estudio realizado por CONCAWE (CONCAWE, 2002) estima en un 0,0002% el porcentaje de pérdidas de crudo en los oleoductos.

9.3.6 Uso de energía y emisiones asociadas al transporte de crudo vía marítima del puerto de origen al puerto destino

Para calcular las emisiones derivadas de esta fase y el consumo de energía se ha seguido la metodología simplificada propuesta en el proyecto MEET "Methodology for calculating transport emissions and energy consumption" (Hickman, 1999).

Las emisiones se obtienen a partir de:

$$E_i = \sum_{j,k,l} E_{i,j,k,l}$$

$$E_{i,j,k,l} = S_{jk} (GT) \cdot t_{j,k,l} \cdot F_{i,j,l}$$

donde:

- i: es el contaminante
- j: es el combustible utilizado
- k: es el tipo de buque
- l: es el tipo de motor
- E_i : es el total de emisiones del contaminante i
- $E_{i,j,k,l}$: es el total de emisiones del contaminante i debido al uso del combustible j en un buque de la clase k con un motor tipo l
- $S_{jk} (GT)$: es el consumo diario de combustible j en un buque de la clase k en función de la carga transportada (GT)
- t_{jkl} : es el número de días de navegación del buque clase k con el motor tipo l utilizando el combustible j
- F_{ijl} : es el factor de emisión media para el contaminante i del combustible j en motores tipo l .

Los puertos de origen del crudo recibido en el puerto de Algeciras han sido facilitados por las autoridades portuarias. En los casos en los que sólo se informó del país de procedencia, se ha tomado como referencia el puerto más importante del país con terminal para carga de crudo.

Las distancias recorridas por los buques tanque han sido calculadas utilizando la herramienta disponible en <http://www.distances.com>. Conociendo la capacidad de carga del buque (320000 t) y las toneladas de crudo recibidas, se ha estimado el número de buques tanque que llegan al puerto de Algeciras en función de su origen. Tomando como velocidad media 14 nudos se calculan los días de navegación necesarios para el transporte de crudo.

Cálculo del consumo de combustible

El combustible utilizado por el buque tanque es el fuel oil residual. En el estudio se tiene en cuenta que los buques tanque hacen un viaje de ida con carga y un viaje de vuelta sin carga. Para la ida se considera que el consumo de combustible varía en función de la carga, mientras que para la vuelta, se ha tomado el consumo medio para este tipo de tanques, 41,15 t de combustible/ día ya que vuelven siempre vacíos. El consumo de combustible en el caso del viaje de ida se obtiene de la siguiente ecuación:

$$S_{jk}(GT) = C_{jk}(GT) \cdot 0,8$$

$$\text{con: } C_{jk}(GT) = 14,685 + 0,00079 \cdot GT$$

donde:

$C_{jk}(GT)$: es el consumo de combustible j en t de combustible/ día, en función de la carga, considerando que el buque tipo k viaja siempre a la velocidad máxima.

Emisión de contaminantes derivados del uso del combustible.

Los factores de emisión de CO₂ han sido tomados de los propuestos por Hickman, (Hickman, 1999), estimados en 3200 kg CO₂/t fuel oil.

Para la estimación de las emisiones producidas por el CH₄ y el N₂O se han utilizado los factores de emisión propuestos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 1996). Los factores de emisión se muestran en la Tabla 43.

Tabla 43: Factores de emisión IPCC

EMISIÓN	F. Emisión (kg/ TJ de crudo)
CH ₄	5
N ₂ O	0,6

Emisiones debidas a la producción del combustible

La producción del combustible, fuel oil residual, lleva asociadas unas emisiones de contaminantes y consumos de energía. Estos resultados se han obtenido de la base de datos ETH (Frischknecht et al, 1996).

9.4 Reglas de asignación

En el proceso de extracción del crudo se obtienen dos productos:

- el crudo
- el gas natural

La asignación de cargas entre estos productos se ha hecho utilizando dos métodos:

- asignación en base al contenido energético
- asignación en base al valor económico de los productos.

9.4.1 Asignación en base al contenido energético

La cantidad de gas comercializado por tonelada de crudo varía en función de los orígenes del mismo. El origen del crudo para la refinería considerada se muestra en la tabla 42.

La cantidad de gas comercializado (excluyendo los consumos propios y las pérdidas en la extracción) en cada uno de los orígenes por cada kg de crudo producido, obtenida de datos proporcionados por la EIA (<http://www.eia.doe.gov>) se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 44: Cantidad de gas natural producido por kg de crudo

	Gas natural comercializado (kg/kg crudo)
Oriente Medio	0,0716
Sur América	0,6166
Caribe	0,4220
Nigeria	0,0928
Norte de África	0,5697
Rusia (Báltico)	5,6356
Rusia (Mar Negro)	0,0391
Mar del Norte	0,0025
Otros (Francia)	0,3165

Considerando un contenido energético de 57,27 MJ/kg para el gas natural y de 42,54 MJ/kg para el crudo se obtienen los porcentajes de asignación entre el gas natural y el crudo para la extracción del crudo. Estos porcentajes de asignación son los siguientes:

Tabla 45: Porcentajes de asignación para el gas natural y el crudo procesado según el método de asignación en base al contenido energético

Crudo	Gas natural
68,28	31,72

9.4.2 Asignación en base al valor económico

El valor económico del crudo y del gas natural se ha obtenido de los datos publicados por la EIA en su "Annual Energy Outlook 2004 with Projections to 2025" (www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/gas.html#ngc), tomando una media de los precios en pozo desde el año 2000 hasta el año 2005 que es el horizonte temporal de nuestro estudio. Estos precios son los siguientes:

- Crudo: 0,185 Euros/kg
- Gas natural: 0,019 Euros/kg

Tomando en consideración estos precios y los datos proporcionados en la sección anterior sobre el origen del crudo procesado y la cantidad de gas natural comercializado por kg de crudo producido en cada origen, se han obtenido los porcentajes de asignación que a continuación se detallan.

Tabla 46: Porcentajes de asignación para el gas natural y el crudo procesado según el método de asignación en base al precio

Crudo	Gas natural
90,11	9,89

Como vemos, los porcentajes de asignación varían considerablemente al utilizar uno u otro método de asignación.

9.5 Balance energético

Se ha realizado el balance energético de los procesos de extracción y transporte del crudo hasta la refinería. Los resultados (después de realizar la asignación) se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 47. Balance energético de los procesos de extracción y transporte del crudo (MJ/kg crudo)

Etapa	Energía utilizada (MJ/kg crudo)
Extracción (incluida exploración y perforación)	0,63
Energía perdida en la quema o liberación del gas natural	1,84
Total extracción	2,46
Transporte por oleoducto desde el campo petrolífero al puerto de origen	0,15
Transporte por barco desde el puerto de origen hasta el puerto de destino	0,07
Total transporte	0,22
Total extracción y transporte	2,68

Los valores publicados en la literatura científica para el consumo energético en la extracción del crudo oscilan entre 0,85 MJ/kg de crudo considerados por el modelo GREET (Wang et al, 1999) y 2,67 MJ/kg de crudo considerados por Sheehan (Sheehan et al, 1998) para la extracción del crudo importado en Estados Unidos. En cuanto al consumo energético en el transporte del crudo, los valores publicados van desde 0,22 MJ/kg crudo en el modelo GREET (Wang et al, 1999) hasta el valor de 1,09 MJ/kg de crudo considerados por Sheehan (Sheehan et al, 1998) para la extracción del crudo importado en Estados Unidos. Nuestros resultados, por tanto, se encuadran bien dentro del rango de los valores considerados en otros estudios.

10 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL PROCESO DE REFINO DEL CRUDO

10.1 Principales hipótesis y limitaciones

10.1.1 Fuentes de datos.

Los datos se han obtenido directamente de la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP).

Se ha considerado el proceso de producción de gasolina en una refinería de tipo FCC (Fluid Catalytic Cracking) que son las refinerías complejas más comunes en España. Los datos utilizados corresponden a la refinería de Algeciras propiedad de la empresa CEPSA y correspondientes al año 2005.

10.2 Descripción cuantitativa y cualitativa del proceso

En la Figura 21 se muestra un esquema de los procesos implicados en el refino del crudo. Fuera de los límites del sistema quedan los procesos de fabricación de toda la maquinaria y equipamiento necesarios en esta fase.

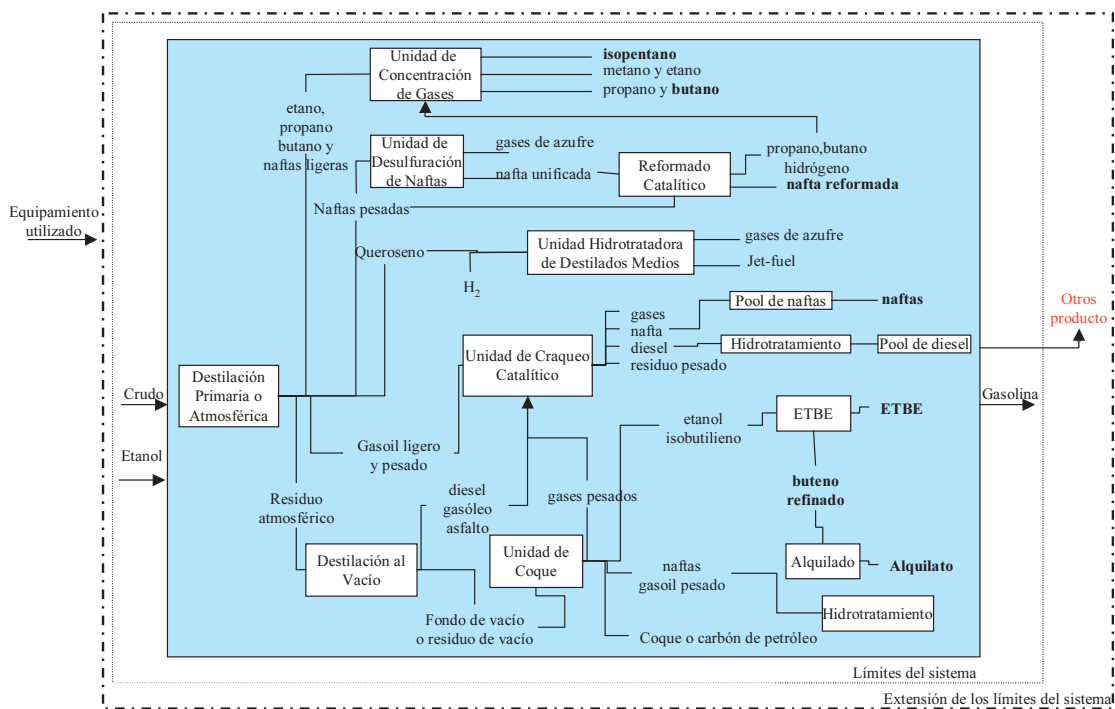


Figura 21. Esquema de los procesos implicados en el refino del crudo

Las refinerías convierten el crudo en diversos productos útiles. En ellas, el petróleo crudo se somete a un proceso de destilación o separación física y luego a procesos químicos que permiten obtener buena parte de la gran variedad de componentes que contiene. Estos procesos se describen de forma general a continuación.

- Destilación primaria o atmosférica. El primer paso es una destilación atmosférica, o primaria, en la que se separan las distintas fracciones de acuerdo a puntos de ebullición. Las fracciones más ligeras se usan para fabricar las naftas y la gasolina, las fracciones medias se usan para producir gasoil y queroseno y las fracciones más pesadas (crudo reducido) se destilan en vacío.
- Destilación en vacío donde se obtienen gasóleos pesados y residuos.
- Unidad de coke: alimentada por los residuos de la destilación a vacío, en ella se producen gas, nafta, gasoil y coke.
- Unidad de concentración de gases: En la destilación atmosférica se separan asimismo gases que darán lugar a la producción de gas licuado de petróleo, propano, propileno y butano. En esta unidad de concentración de gases se tratan los gases y naftas ligeras producidas en las unidades de destilación atmosférica y en el reformado catalítico. El primer paso es la separación de gases no comprimibles (metano y etano) para su utilización como combustible de planta en quemadores. Tras esto se separa el isopentano y los gases intermedios (propano y butano). Estos gases, que forman el LPG, junto con los compuestos más pesados, que formarán la gasolina ligera, deben pasar posteriormente por un tratamiento cáustico, donde se lavan con sosa cáustica eliminando así los compuestos de azufre.
- Unidades catalíticas: permiten obtener compuestos más ligeros a partir de cargas pesadas, así como modificar la proporción de familias de hidrocarburos de acuerdo con los requerimientos de los combustibles a fabricar. Como unidad más importante destaca la unidad de craqueo catalítico que recibe los gasóleos de vacío para producir gasolina y compuestos base para la petroquímica (propileno, etc.).
- Unidad Hidrotratadora de destilados medios: está diseñada para procesar diésel pero también se utiliza para procesar queroseno.
- Unidad de reformado catalítico: en la zona de destilados ligeros, aumenta el contenido de productos aromáticos con alto octanaje en la nafta, produciendo hidrógeno como subproducto.
- Unidad de alquilación: permite convertir olefinas ligeras en componentes más valiosos de las gasolinas por su mayor octano y menor presión de vapor.
- Unidad de producción de ETBE. La gasolina producida en la refinería contiene ETBE (4.2% en peso). La refinería dispone de una unidad de producción de ETBE a partir de isobutileno y etanol.

10.3 Procedimientos de cálculo

10.3.1 Cálculo de emisiones y uso de energía en el proceso de refino.

La mayoría de los análisis de ciclo de vida de productos petrolíferos consultados (General Motors Corporation, Argonne National Laboratory, BP, ExxonMobil, Shell (2001); Wang (1999); Delucchi, 1993; Gover et al, 1996) utilizan modelos de programación lineal de la refinería para estimar los consumos energéticos y las emisiones de la misma. En nuestro caso no disponemos

de estos modelos de programación lineal pero, alternativamente, disponemos de datos globales de los distintos insumos de crudo, otras materias primas y fuentes de energía, así como de las salidas de los distintos productos y de las emisiones. De esa manera podemos calcular la eficiencia energética y las cargas ambientales globales de la refinería.

Las entradas y salidas de energía y materia de la refinería se resumen en la Tabla 49. La eficiencia energética del proceso de refino calculada tomando en consideración estos datos es de un 94,43%.

La refinería obtiene la mayor parte de su energía del propio crudo. El consumo interno, tal y como se ve en la Tabla 48, es de $2,27 \cdot 10^{10}$ MJ/año.

Tabla 48. Consumo interno en la refinería

Consumo interno	
	MJ/año
Propano	$1,92 \cdot 10^7$
Fuel oil	$9,61 \cdot 10^9$
Gas	$9,83 \cdot 10^9$
Coke	$3,27 \cdot 10^9$
Total	$2,27 \cdot 10^{10}$

La refinería importa energía externa en forma de electricidad y gas natural. Las importaciones de energía ascienden a $7,94 \cdot 10^9$ MJ/año.

Tabla 49. Entradas y salidas de materia y energía a la refinería

Entradas			Salidas		
	t/año	MJ/año		t/año	MJ/año
Crudo	11.628.473	$4,95 \cdot 10^{11}$	GLP	476.401	$2,25 \cdot 10^{10}$
Energía externa			Naftas	449.692	$1,68 \cdot 10^{10}$
Electricidad		$4,21 \cdot 10^9$	Gasolinas	1.289.100	$5,53 \cdot 10^{10}$
Gas natural		$3,73 \cdot 10^9$	Keroseno	2.559.903	$1,03 \cdot 10^{11}$
		$7,94 \cdot 10^9$	Gasóleos	3.919.251	$1,64 \cdot 10^{11}$
Materias primas			Fuelóleos	4.556.315	$1,83 \cdot 10^{11}$
Catalizadores	1.323	$5,29 \cdot 10^7$	Bases lubricantes	214.281	$8,61 \cdot 10^9$
Otros productos petrolíferos	2.906	$1,16 \cdot 10^{11}$	Aromáticos, petroquímicos y disolventes	785.583	$3,16 \cdot 10^{10}$
Etanol	31.703	$8,48 \cdot 10^8$	Otros productos intermedios	451.668	
Total		$6,20 \cdot 10^{11}$			$5,85 \cdot 10^{11}$
			Emissiones atmosféricas	t/año	
			CO ₂	$2,19 \cdot 10^6$	
			N ₂ O	220	

10.4 Reglas de asignación

El proceso de refino del crudo da lugar a una larga lista de co-productos además del diésel. Una vez calculadas las cargas totales del proceso de refino se ha procedido a asignarlas a los distintos co-productos.

La asignación de cargas entre estos co-productos se ha hecho utilizando dos métodos:
 - asignación en base al contenido energético
 - asignación en base al valor económico de los productos.

10.4.1 Asignación en base al contenido energético

Los contenidos energéticos de los distintos co-productos y los porcentajes de asignación correspondientes se resumen en la Tabla 50.

Tabla 50. Asignación por contenidos energéticos

	Toneladas	PCI MJ/kg	MJ	Asignación (%)
GLP	476.401	47,31	2,25 10 ¹⁰	3,85
Naftas	449.692	37,44	1,68 10 ¹⁰	2,88
Gasolinas	1.289,100	42,90	5,53 10 ¹⁰	9,45
Keroseno	2.559.903	40,27	1,03 10 ¹¹	17,62
Gasóleos	3.919.251	41,85	1,64 10 ¹¹	28,04
Fuelóleos	4.556.315	40,19	1,83 10 ¹¹	31,30
Bases lubricantes	214.281	40,19	8,61 10 ⁹	1,47
Aromáticos, petroquímicos y disolventes	785.583	40,19	3,16 10 ¹⁰	5,40

Fuente: IEA, 2002; AOP; Concaawe

10.4.2 Asignación en base al valor económico de los productos

Los precios de los distintos co-productos y los correspondientes porcentajes de asignación se resumen en la Tabla 51.

Tabla 51. Asignación por valor económico de los co-productos

	Toneladas	Precio		Asignación (%)
		Euro/t	Euros	
GLP	476,401	77,75	3,70 10 ¹⁰	0,81%
Naftas	449,692	236,80	1,06 10 ¹¹	2,33%
Gasolinas	1.289,100	403,48	5,20 10 ¹¹	11,38%
Keroseno	2.559,903	222,75	5,70 10 ¹¹	12,47%
Gasóleos	3.919,251	366,13	1,43 10 ¹²	31,38%
Fuelóleos	4.556,315	287,68	1,31 10 ¹²	28,67%
Bases lubricantes	214,281	1.450,00	3,11 10 ¹¹	6,80%
Aromáticos, petroquímicos y disolventes	785,583	359,20	2,82 10 ¹¹	6,17%

Fuentes: www.mineco.es; www.icislors.com; www.mtas.es; www.refinor.com; Repsol-YPF

10.5 Balance energético

El balance energético realizado se resume en la Tabla 52.

Las referencias publicadas dan valores alrededor de 3 MJ/kg de gasoil (Sheehan et al, 1998 y Delucchi 2003), alrededor de 4 MJ/kg de gasoil (Brandberg et al 1992, Ademe, 2002), alrededor de 5 MJ/kg gasoil (Wang, 1999) y hasta alrededor de 7 MJ/kg gasoil (Concaawe 2003). Los valores obtenidos se hallan por encima del rango de los valores publicados posiblemente debido a que se trata de un diésel de bajo contenido en azufre.

Tabla 52. Balance energético de la producción de diésel

	MJ/año	% asignación	Producción de gasoil(t)	MJ/kg	MJ/l
Consumos propios					
Propano	1,92 10 ⁷				
Fuel oil	9,61 10 ⁹				
Gas	9,83 10 ⁹				
Coke	3,27 10 ⁹				
	2,27 10 ¹⁰				
Energía de las materias primas	1,1710¹¹				
Consumos externos					
Electricidad	4,21 10 ⁹				
Gas natural	3,73 10 ⁹				
	7,94 10 ⁹				
Consumo energético del proceso	1,48 10¹¹	28,04	3.919.251	10,56	8,82
Energía en el crudo	4,95 10 ¹¹	28,04	3.919.251	35,39	29,55
Total consumo energético (sin consumos propios)	6,20 10¹¹	28,04	3.919.251	44,32	37,01

En estos valores no se ha incluido la energía del propio crudo que entra a formar parte del gasoil producido. Teniendo en cuenta esta energía, la energía primaria total necesaria para producir un kg de gasoil asciende a 44,32 MJ/kg de gasoil.

11 ANÁLISIS DE INVENTARIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MEZCLAS

11.1 Principales hipótesis y limitaciones

11.1.1 Fuentes de datos.

Los datos necesarios para la realización de este inventario han sido proporcionados por AOP y ACCIONA Biocombustibles.

11.2 Descripción cuantitativa y cualitativa del proceso

El diésel producido en la refinería se transporta a un depósito fiscal de almacenamiento de hidrocarburos. El transporte se realiza por oleoducto, recorriéndose una distancia de 2 km.

El biodiésel tipo A₁ se produce en la planta de ACCIONA Biocombustibles situada en Caparroso, Navarra. Parte del biodiésel producido en esta planta se transporta mediante camión cisterna al depósito fiscal mencionado en la distribución de diésel donde se realiza la mezcla de hidrocarburos. La distancia recorrida por el camión en el trayecto de ida y vuelta se ha calculado como la media de las distancias entre las plantas de producción de biodiésel existentes, en construcción y proyectadas, y los depósitos fiscales que hay en la Península.

Otra parte de biodiésel producido en esta planta se distribuye directamente a estaciones de servicio que ofrecen la posibilidad de repostar el combustible puro BD100A₁. Dichas estaciones se encuentran en las localidades de Cordovilla y Aizoain.

El biodiésel tipo A₂ se produce en la planta de BIONOR TRANSFORMACIÓN S.A. localizada en Berantevilla, Álava. De igual modo, parte del biodiésel se transporta en camión cisterna al depósito fiscal como en los casos anteriores. Se han tomado las mismas distancias calculadas para el caso del biodiésel tipo A₁.

Asimismo, se ha supuesto que el resto del biodiésel producido en BIONOR TRANSFORMACIÓN S.A. se distribuye también a estaciones de servicio que ofrecen biodiésel puro, en este caso BD100A₂.

Las operaciones de mezcla llevadas a cabo en el depósito fiscal, dan lugar a los siguientes combustibles:

- BD5A₁ → 95% diésel EN-590, 5% biodiésel A₁
- BD10A₁ → 90% diésel EN-590, 10% biodiésel A₁
- BD5A₂ → 95% diésel EN-590, 5% biodiésel A₂
- BD10A₂ → 90% diésel EN-590 A₂, 10% biodiésel A₂

Una vez obtenidos estos combustibles, se distribuyen directamente a las estaciones de servicio. El esquema general de los transportes utilizados para las mezclas consideradas se muestra en la Figura 22.

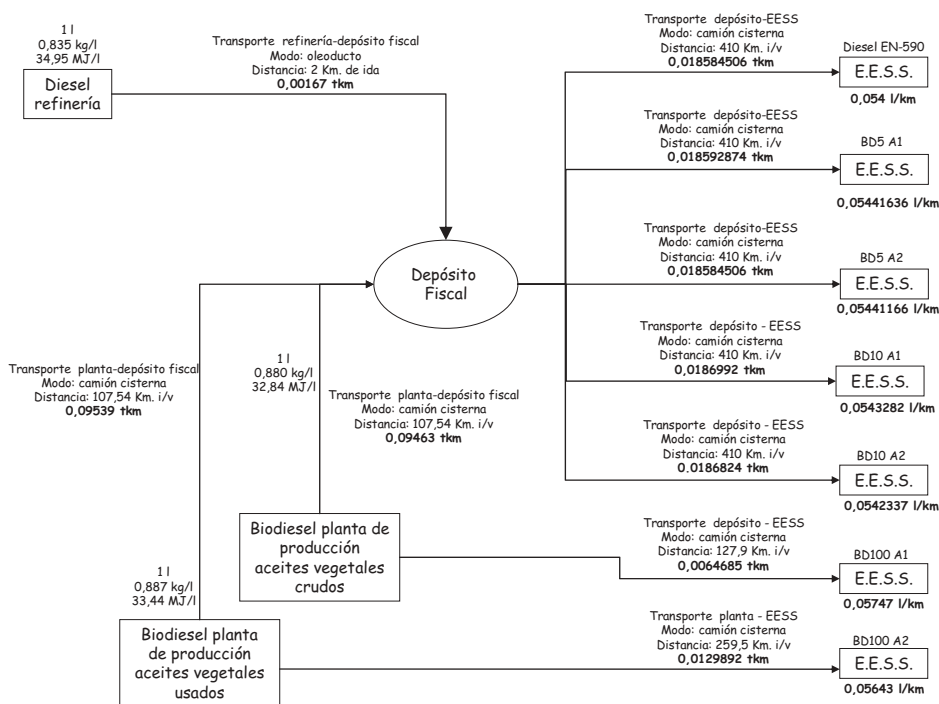


Figura 22. Esquema del transporte de los combustibles

11.3 Procedimientos de cálculo

11.3.1 Cálculo del uso de energía y de las emisiones producidas en la distribución de los combustibles

Las necesidades de transporte de los distintos combustibles y mezclas en el escenario considerado se han calculado teniendo en cuenta las distancias de transporte y los volúmenes a transportar, según se ve en la Figura 22.

El uso de energía necesario en este transporte se ha obtenido usando la base de datos ETH (Frischknecht et al, 1996) que proporciona datos de energía usada por cada tonelada transportada un kilómetro en cada medio de transporte.

Las emisiones producidas en esta etapa son las siguientes:

1. las emisiones derivadas de la provisión de energía, como es el caso de las derivadas por la generación de la electricidad necesaria para operar los oleoductos.
2. Las emisiones del tubo de escape de los camiones cisterna usados en los transportes por carretera.

Las emisiones se han obtenido de la base de datos BUWAL (BUWAL 250) y la base de datos ETH (Frischknecht et al. 1996).

11.4 Balance energético

El balance energético realizado da los siguientes resultados expresados por unidad funcional y por litro de cada una de las mezclas.

	MJ/UF	MJ/l
Diésel EN-590	0,004	0,07
BD5A1	0,067	1,24
BD10A1	0,068	1,26
BD100A1	0,023	0,40
BD5A2	0,067	1,24
BD10A2	0,066	1,22
BD100A2	0,046	0,82

Los valores publicados para la distribución del gasoil son bastante similares en este punto. Así, se encuentran valores desde 0,3 MJ/l de gasoil (Sheehan et al 1998), 0,3 MJ/l de gasoil (Brandberg et al, 1992, Delucchi, 2003, Ademe, 2002) hasta 0,5 MJ/l de gasoil (Wang, 1999, Concawe, 2003). Los valores obtenidos en este estudio se sitúan por encima del rango de valores publicados salvo en el caso de la distribución directa de biodiésel a estaciones de servicio. Esto es probablemente debido a que se ha considerado la distribución desde la refinería y desde las plantas de biodiésel hasta centros logísticos de distribución de hidrocarburos y desde allí, una vez realizadas las mezclas, la distribución hasta las estaciones de servicio.

12 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL USO FINAL DE LOS COMBUSTIBLES ESTUDIADOS

12.1 Principales hipótesis y limitaciones

12.1.1 Fuentes de datos

Los datos de consumos de combustible del vehículo seleccionado usando diésel, así como algunos de los gases contaminantes emitidos por el escape se han obtenido de Ford. Asimismo se ha realizado una revisión bibliográfica que ha permitido estimar los datos no proporcionados por Ford y necesarios para el estudio.

12.1.2 Vehículo de referencia

Estudiando la evolución porcentual de la composición de la flota en los últimos años reflejada en la Figura 23 vemos como el tipo de vehículo mayoritario en la flota de turismos es, de forma creciente, un vehículo de cilindrada comprendida entre 1,6 y 2 cc.

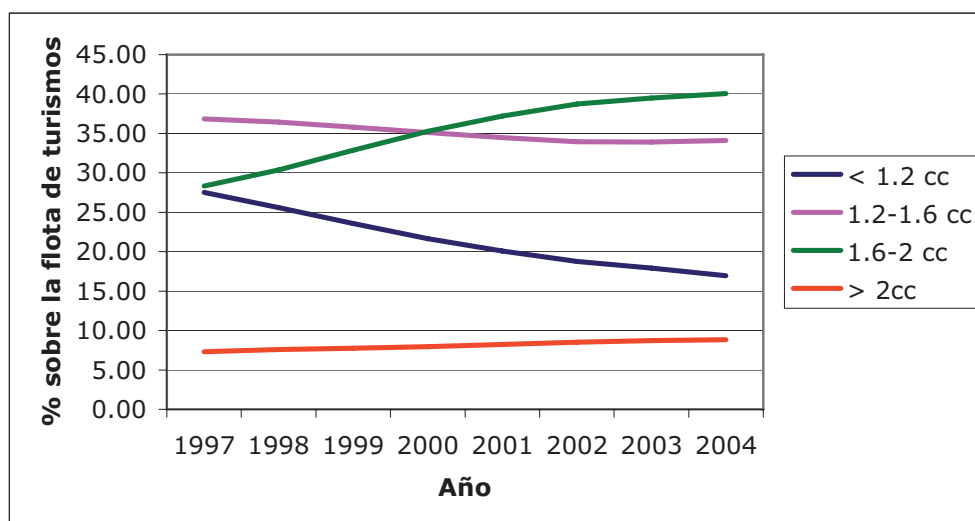


Figura 23. Evolución de la composición porcentual de la flota de turismos en España.
Fuente: DGT

En el marco de este estudio se ha considerado que el Ford Focus de cilindrada 1,8 cc es un vehículo representativo del vehículo mayoritario en el que se va a consumir el diésel en el ámbito temporal de este estudio.

Este vehículo es capaz de consumir mezclas variables de diésel y biodiésel pudiendo incluso funcionar con biodiésel puro.

El vehículo de referencia en el que se usarán los combustibles estudiados será por tanto el Ford Focus 1.8 TDDi 90 CV.

Las prestaciones del vehículo son las siguientes:

- Aceleración 0-100 km/h: 12,5 s
- Velocidad máxima : 180 km/h
- Peso del vehículo: 1288 kg
- Potencia máxima: 66 kW(90CV) a 4000 rpm
- Par máximo: 200 Nm a 2000 rpm
- Consumo de combustible (pruebas oficiales según la directiva 93/116/CEE) válido cuando el vehículo usa gasoil: 5,4 l/100km
- Emisiones de CO₂: 143 g/km

12.2 Descripción cualitativa y cuantitativa del proceso

En la Figura 24 se muestra el esquema del proceso de uso del combustible. Fuera de los límites del sistema quedan los procesos de fabricación del vehículo ya que son los mismos en todos los sistemas estudiados.

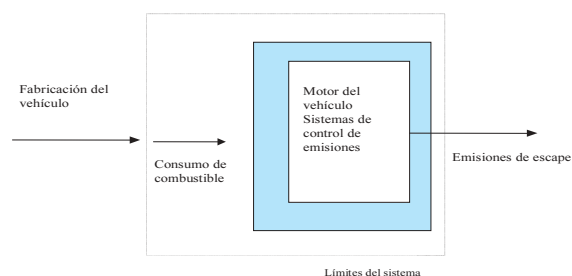


Figura 24. Esquema del proceso de uso del combustible

El motor del vehículo consume combustible y genera la potencia necesaria para mover el vehículo. Este proceso genera unas emisiones de gases de efecto invernadero que se emiten a través del tubo de escape.

Para el control de emisiones, el vehículo de referencia tiene incorporado un catalizador de oxidación y dispone de recirculación de gases de escape.

Los datos de consumo de combustible y emisiones de CO₂ del vehículo de referencia cuando usa diésel sin adición de biodiésel han sido proporcionados por Ford y se muestran en la Tabla 53.

Tabla 53. Consumo de combustible y emisiones de CO₂ del vehículo de referencia cuando usa combustible diésel sin adición de biodiésel.

Fuente: Ford (Luna, comunicación personal)

Consumo de combustible (l/100km)	5,4
Emisiones de CO ₂ (g/km)	143

La estimación de las emisiones de CO₂ producidas en la combustión de las distintas mezclas estudiadas se ha realizado de forma teórica a partir del contenido de C del combustible, así como del consumo de combustible detallados en la Tabla 1 y Tabla 2.

Para estimar los datos de emisiones del tubo de escape de otros gases de efecto invernadero se ha realizado una revisión bibliográfica que se detalla en el apartado siguiente.

12.2.1 Revisión bibliográfica

En la Tabla 54 se han reunido los datos publicados sobre emisiones de otros gases de efecto invernadero (CH₄ y N₂O) de turismos diésel.

No se han encontrado datos relativos a las emisiones de estos compuestos cuando los vehículos usan biodiésel, y en todos los estudios revisados las emisiones de estos compuestos de las mezclas de biodiésel se han considerado iguales a las emisiones del diésel sin adición de biodiésel.

Tabla 54. Variabilidad de los datos de emisiones de otros gases de efecto invernadero de vehículos de pasajeros diésel en las referencias publicadas

Referencia	CH ₄ g/km	N ₂ O g/km
EPA, 1999	0,0124	0,0124
IPCC, 1997	0,0124	0,0093
Delucchi 2003	0,0124	0,0218
Wang, 1999	0,0110	0,0160
Concawe, 2003	0,0120	0,0100
GM Well to Wheel analysis, 2002	0,0100	0,0099
Valor medio	0,0117	0,0132

12.2.2 Cálculo de las emisiones del tubo de escape

Para las emisiones del vehículo de referencia con las distintas mezclas estudiadas se han realizado una serie de hipótesis:

- las emisiones de óxido nitroso del vehículo de referencia, independientemente del combustible usado, se han estimado en 0,0132 g/km que es el valor medio de todos los valores publicados revisados.
- Las emisiones de CO₂ se han estimado considerando el contenido de C del combustible.
- Las emisiones de metano del vehículo de referencia, independientemente del combustible usado, se han estimado en 0,0117 g/km que es el valor medio de todos los valores publicados revisados.

Tomando todo esto en consideración las emisiones para cada uno de los combustibles estudiados son las siguientes:

Tabla 55. Emisiones de gases de efecto invernadero del tubo de escape del vehículo de referencia con los distintos combustibles estudiados

g/km	Diésel EN-590	BD5A1	BD10A1	BD5A2	BD10A2	BD100A1	BD100A2
N ₂ O	0,0132	0,0132	0,0132	0,0132	0,0132	0,0132	0,0132
CO ₂	142,31 (142,31)	142,31 (135,20)	142,32 (135,10)	142,31 (128,09)	142,12 (127,91)	142,38 (0)	140,25 (0)
CH ₄	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117

En el caso de las emisiones de CO₂, entre paréntesis se indican las emisiones provenientes de la fracción de gasoil de la mezcla que son las que se han tenido en cuenta.

SECCIÓN III. RESULTADOS

1 INTRODUCCIÓN

Los resultados que se presentan en este documento están relacionados con dos aspectos fundamentales:

- el uso de energía en la producción y distribución de las mezclas estudiadas,
- las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de las mezclas consideradas.

En cuanto al uso de energía se ha calculado la energía primaria total y la energía fósil utilizada en la producción y distribución de cada una de las mezclas estudiadas, así como las eficiencias energéticas definidas como:

- **eficiencia energética del ciclo de vida: es el ratio entre la energía del producto (en términos del poder calorífico inferior) y la energía primaria total necesaria para producir y distribuir el producto.**
- **Ratio de energía fósil: es el ratio entre la energía del producto (en términos del poder calorífico inferior) y la energía fósil necesaria para producir y distribuir el producto.**

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero se presentan los resultados del inventario realizado para el CO₂, el óxido nitroso y el metano durante el ciclo de vida de las mezclas estudiadas.

Para el cálculo de las emisiones de este tipo de gases en equivalentes de CO₂ se han utilizado los siguientes factores de caracterización, que expresan el potencial de calentamiento global de cada una de las sustancias consideradas. Estos potenciales describen el forzamiento radiativo de los diferentes gases de efecto invernadero en relación al forzamiento radiativo del CO₂ en función de las propiedades de absorción de los gases y de sus vidas medias.

Los potenciales usados se muestran en la Tabla 56.

Tabla 56. Potenciales de calentamiento global

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
100 años	1	21	310

Fuente: IPCC (Houghton et al, 1996)

Todos los resultados se muestran referidos a la unidad funcional, que tal y como se ha definido en la sección I, es la cantidad de combustible necesaria para recorrer 1 km. Por tanto, los resultados se refieren a consumos energéticos y emisiones por km recorrido.

2 BALANCES ENERGÉTICOS

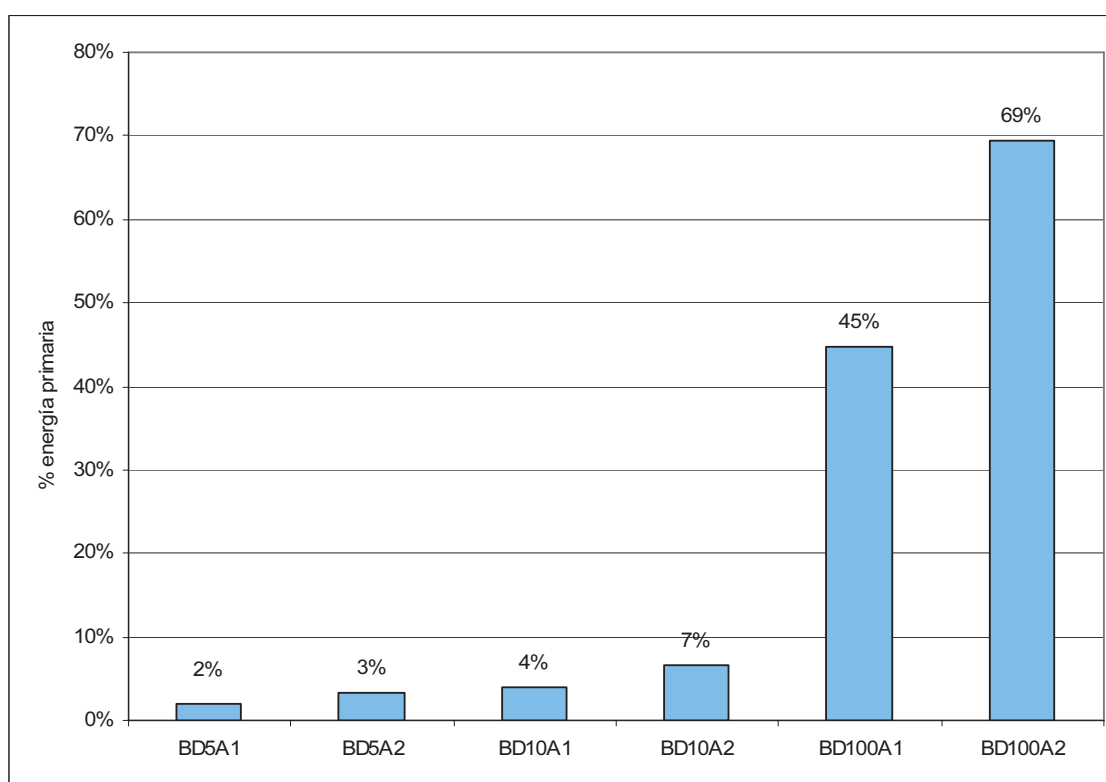
2.1 Energía primaria total

Los resultados de consumos de energía primaria total en la producción y distribución de cada una de las mezclas estudiadas se resumen en la Tabla 57.

Tabla 57. Energía primaria utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas

	Energía primaria total (MJ/km)
Diésel En-590	1,956
BD5A1	1,918
BD10A1	1,880
BD100A1	1,081
BD5A2	1,893
BD10A2	1,828
BD100A2	0,599

Estos resultados indican que la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos supone un ahorro de 0,9 MJ de energía primaria por cada kilómetro recorrido respecto de la producción de diésel EN-590, lo que constituye un ahorro de un **45%** de energía primaria. En cuanto a la producción de biodiésel de aceites vegetales usados este ahorro es de 1,4 MJ/km o un **69%** de energía primaria.

**Figura 25. Ahorro de energía primaria de las mezclas estudiadas frente al diésel EN-590**

Las mezclas al 10% de biodiésel con diésel EN-590 suponen también un ahorro moderado de energía primaria entre el 4 y el 7% para el biodiésel de aceites vegetales crudos y aceites vegetales usados respectivamente, mientras que las mezclas al 5% suponen un ahorro de energía primaria del 2 al 3%.

2.2 Energía fósil

Los resultados de consumos de energía fósil en la producción y distribución de cada una de las mezclas estudiadas se resumen en Tabla 58.

Tabla 58. Energía fósil utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas

	Energía fósil (MJ/km)
Diésel En-590	1,949
BD5A1	1,883
BD10A1	1,817
BD100A1	0,489
BD5A2	1,862
BD10A2	1,772
BD100A2	0,086

Estos resultados indican que la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos supone un ahorro de 1,5 MJ de energía fósil por cada kilómetro recorrido respecto de la producción de diésel EN-590, lo que constituye un ahorro de un 75% de energía fósil. En cuanto a la producción de biodiésel de aceites vegetales usados este ahorro es de 1,9 MJ/km o un 96% de energía fósil.

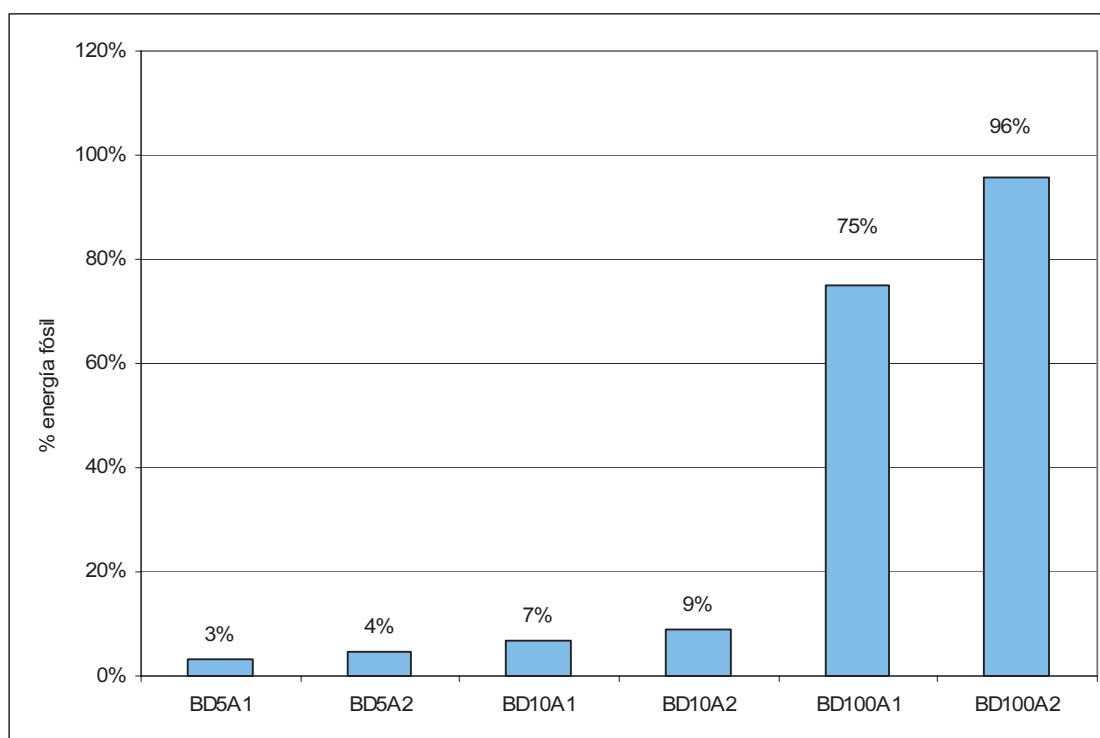


Figura 26. Ahorro de energía fósil de las mezclas estudiadas frente al diésel EN-590

En cuanto a las mezclas al 10% de biodiésel con diésel EN-590 suponen también un ahorro moderado de energía fósil entre el 7 y el 9% para el biodiésel de aceites vegetales crudos y aceites vegetales usados respectivamente. En el caso de las mezclas al 5% dicho ahorro es del 3 al 4%.

En la Tabla 59 y en la Figura 27 se pueden observar los requerimientos de energía fósil en cada una de las etapas de producción y distribución de las mezclas estudiadas.

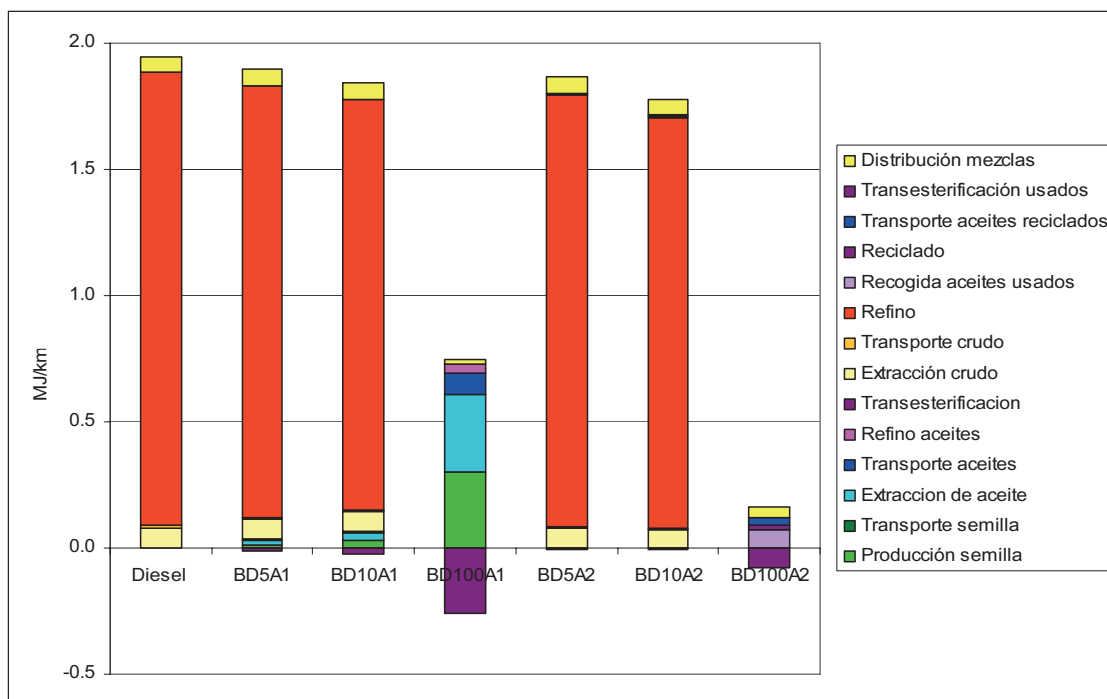


Figura 27. Distribución de la energía fósil necesaria en las distintas etapas de producción y distribución de las mezclas estudiadas

Tabla 59. Energía fósil necesaria en las distintas etapas de producción y distribución de las mezclas estudiadas (MJ/km).

	Diésel EN-590	BD5A1	BD10A 1	BD100A1	BD5A2	BD10A 2	BD100A2
Producción semilla		0,014	0,028	0,300			
Transporte semilla		0,000	0,000	0,001			
Extracción de aceite		0,014	0,029	0,308			
Transporte aceites		0,004	0,008	0,087			
Refino aceites		0,002	0,003	0,032			
Transesterificación		-0,012	-0,025	-0,260			
Extracción crudo	0,081	0,077	0,074		0,077	0,073	
Transporte crudo	0,007	0,006	0,006		0,006	0,006	
Refino	1,796	1,711	1,626		1,710	1,623	
Distribución mezclas	0,065	0,066	0,067	0,021	0,066	0,066	0,044
Recogida aceites usados					0,003	0,007	0,070
Reciclado					0,001	0,002	0,021
Transporte aceites reciclados					0,001	0,003	0,029
Transesterificación usados					-0,004	-0,007	-0,078
Total	1,949	1,883	1,817	0,489	1,862	1,772	0,086

Los valores negativos observados son debidos al procedimiento de extensión de los límites del sistema efectuado para evitar la asignación de cargas ambientales a los distintos co-productos originados en los procesos incluidos en el análisis. Así, al extender los límites del sistema en el

caso de transesterificación, la producción de glicerina como co-producto del proceso evita la producción de glicerina sintética y de polietilenglicol en el sistema expandido. Estos procesos evitados consumen más energía que la transesterificación y, por tanto, en conjunto el proceso tiene cargas negativas.

En cuanto a la producción y distribución de diésel EN-590, la etapa de mayor consumo energético es la de refino, seguida de la de extracción del crudo y distribución del combustible hasta las estaciones de servicio.

La producción de biodiésel de aceites vegetales crudos tiene sus mayores consumos energéticos en las etapas de producción de semilla y extracción del aceite, siendo la transesterificación un proceso que ahorra energía en el sistema expandido, como ya se ha explicado anteriormente.

La producción de biodiésel de aceites vegetales usados es la que menos consumo energético tiene puesto que la materia prima principal, el aceite usado, es un residuo al que no se ha asignado ninguna carga derivada de su producción para su uso principal como aceite alimenticio. Asimismo, el proceso de recogida de este aceite, que tiene un elevado consumo energético, es un proceso que tiene que producirse de forma similar aunque no se recoja el aceite para producción de biodiésel, ya que este aceite debe ser, por ley, recogido y gestionado como un residuo. Así, solo se han considerado los consumos energéticos adicionales por llevar este aceite hasta la planta de producción de biodiésel y no hasta su punto de gestión más cercano (en nuestro caso cementeras). Es de destacar que en el cálculo de las necesidades de transporte del proceso de recogida de aceites vegetales usados se ha considerado el caso óptimo en el que los vehículos van a plena carga en cada uno de los viajes que realizan a cada una de las localidades en las que se recoge aceite. Esta sería la situación óptima aunque es difícil decir, a partir de los datos disponibles, si se trata o no de la situación real.

2.3 Consumo de energía primaria y fósil del ciclo de vida de los aceites vegetales utilizados en la producción de biodiésel

El consumo de energía primaria y fósil del ciclo de vida de la producción de los distintos aceites utilizados en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos se muestra en la Tabla 60. Se puede observar cómo la producción de aceite de soja es la más intensiva en energía tanto primaria como fósil mientras que el aceite de girasol es el menos intensivo en sus requerimientos de energía.

Tabla 60. Energía primaria y fósil utilizada para la producción de los distintos aceites utilizados en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos

	Energía primaria (MJ/kg)	Energía fósil (MJ/kg)
Aceite de girasol crudo	23,58	14,34
Aceite de colza importada crudo	26,86	15,58
Aceite de colza nacional crudo	33,19	18,54
Aceite de soja crudo	44,64	25,63
Aceite de palma	35,77	16,31

2.4 Ratio de energía fósil de la producción de biodiésel y diésel EN-590

El ratio de energía fósil de la producción (sin incluir la etapa de distribución) de biodiésel puro de distintos orígenes y diésel EN-590 obtenidas en este estudio de ACV se muestran en la Tabla 61.

Tabla 61. Ratio de energía fósil de la producción de biodiésel y diésel EN-590

	Ratio de energía fósil ($\text{MJ}_{\text{combustible}}/\text{MJ}_{\text{energía fósil}}$)
Biodiésel de aceites vegetales crudos BD100A1	4,0
Biodiésel de aceites vegetales usados BD100A2	44,4
Diésel EN-590	1,0

Los resultados de ratio de energía fósil de la producción de biodiésel pueden compararse con los datos publicados en la literatura y que se muestran en la Tabla 62 .

La producción de biodiésel a partir de aceites vegetales crudos tiene, en las referencias publicadas, un balance energético alrededor de 2-3 salvo en el caso del estudio de IFEU (IFEU, 2000) en el que los valores se sitúan en torno a 5-6. En cuanto al biodiésel producido a partir de aceites vegetales usados el ratio de energía fósil de los valores publicados se sitúa alrededor de 4-5.

En el caso que se presenta, el ratio de energía fósil obtenido para el biodiésel de aceites vegetales crudos es de 4,91, que está dentro del rango de los valores publicados. En el caso del biodiésel de aceites vegetales usados, el valor obtenido en este estudio de ACV, 44,4, es substancialmente mejor que los valores encontrados en la literatura. Este ratio tan elevado se debe a la consideración de la glicerina producida como un producto evitado en el sistema de referencia. Se ha realizado un análisis de sensibilidad en el que se eval. Un escenario en el que la glicerina es considerada como un residuo al que no se le asignan ninguna carga del proceso. En este caso, los ratios de energía fósil descienden considerablemente (ver sección IV. Apartado 2.5.2.)

Tabla 62. Ratio de energía fósil de la producción de biodiésel publicados en la literatura

Estudio	Materia prima	Ratio de energía fósil ($\text{MJ}_{\text{combustible}}/\text{MJ}_{\text{energía fósil}}$)
Ademe, 2002	Colza	3,03
	Girasol	3,16
Elsayed et al, 2003	Colza	2,29
	Aceites usados	5,33
Sheehan, 1998	Soja	3,22
Rollefson et al, 2002	Aceites usados	4,08
	Grasas animales	2,05
	Soja	2,53
	Colza	2,06
IFEU, 2000	Colza	5,46
	Girasol	5,83
Ecobilan, 2002	Colza	2,99
	Girasol	3,16
Concawe, 2002	Colza	0,89
	Girasol	1,11
Ahmed et al, 1994	Soja	0,95
VIEWLS, 2004		5,24

2.5 Eficiencias energéticas de la producción y distribución de las mezclas estudiadas

Las eficiencias energéticas calculadas para la producción y distribución de las mezclas estudiadas se muestran en la Tabla 63. En todos los casos la energía primaria o fósil que hay en el combustible es mayor que la energía primaria total necesaria para producirlo y distribuirlo salvo para el diésel EN-590 y las mezclas al 5% con biodiesel de ambos orígenes. En el caso de las mezclas que contienen biodiésel, y especialmente biodiésel de aceites vegetales usados, las eficiencias son mayores a medida que aumenta el porcentaje de biodiésel en la mezcla.

Tabla 63. Eficiencias energéticas del ciclo de vida y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

	Eficiencia energética del ciclo de vida (MJ _{combustible} /MJ _{energía primaria})	Ratio de energía fósil (MJ _{combustible} /MJ _{energía fósil})
Diésel En-590	0,965	0,968
BD5A1	0,984	1,002
BD10A1	1,004	1,038
BD100A1	1,746	3,856
BD5A2	0,997	1,014
BD10A2	1,032	1,065
BD100A2	3,149	21,861

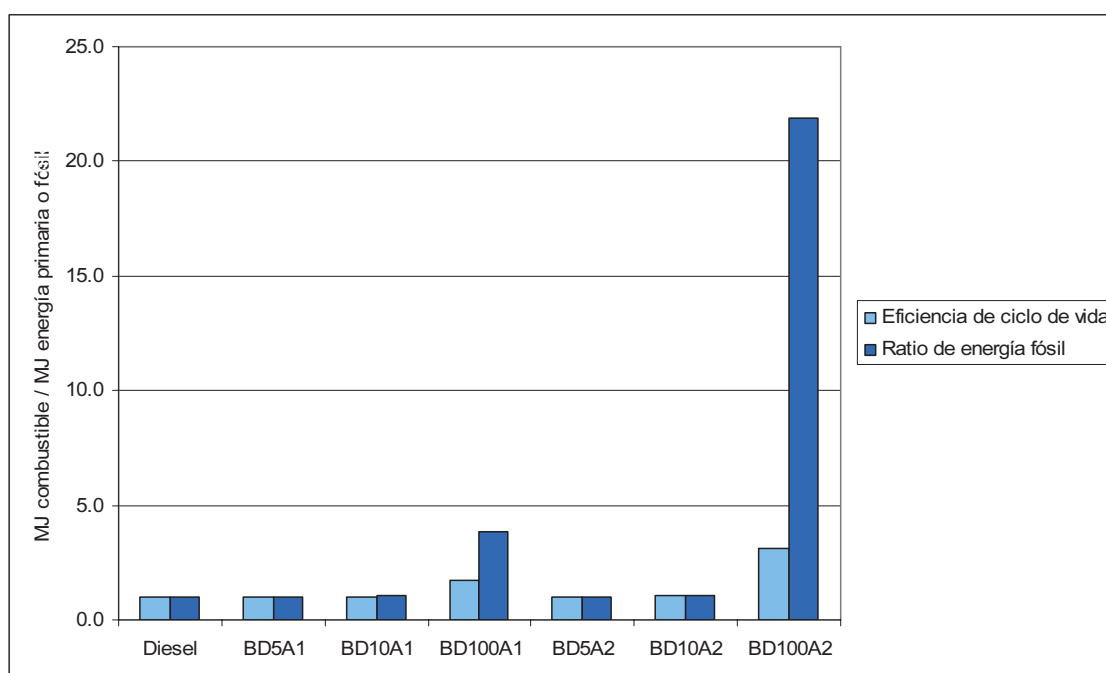


Figura 28. Eficiencia energética y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

3 CAMBIO CLIMÁTICO

3.1 Emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de los aceites vegetales utilizados en la producción de biodiésel

En la Tabla 64 se muestran las emisiones de gases de efecto invernadero que tienen lugar en el ciclo de vida de la producción de los distintos aceites vegetales crudos utilizados en la producción de biodiésel, incluido el transporte de los mismos hasta la planta de producción de biodiésel.

Tabla 64. Emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de los distintos aceites utilizados en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos

	Emisiones de gases de efecto invernadero (g CO ₂ equiv/kg)
Aceite de girasol crudo	1190
Aceite de colza importada crudo	1425
Aceite de colza nacional crudo	2332
Aceite de soja crudo	2140
Aceite de palma	1600

Como se puede observar, la producción de aceite de girasol, es la que menos emisiones de gases de efecto invernadero asociadas tiene, mientras que el aceite de colza de origen nacional es el que más emisiones de este tipo tiene asociadas.

3.2 Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción, distribución y uso de las mezclas estudiadas

Se han calculado las emisiones de gases de efecto invernadero originadas en la producción, distribución y uso de las mezclas estudiadas. Los resultados se muestran en la Tabla 65 y en la Figura 29 expresados en g de CO₂ equivalentes por kilómetro recorrido.

Tabla 65. Emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de las mezclas estudiadas (g CO₂ equiv/km)

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Total GEI
Diésel EN-590	157,92	4,45	0,875	163
BD5A1	151,76	5,62	1,01	158
BD10A1	145,6	6,8	1,15	154
BD100A1	38,06	29,2	3,59	71
BD5A2	150,06	4,45	0,849	156
BD10A2	143,19	4,45	0,823	149
BD100A2	14,31	4,46	0,237	19

Según se puede observar en la Figura 30 en términos de CO₂, la producción y uso de biodiésel puro de aceites vegetales crudos evita la emisión de **120 g** de CO₂ por cada km recorrido en comparación con la producción y uso de diésel EN-590, lo que supone un **76%** de ahorro; y la producción y uso de biodiésel puro de aceites vegetales usados permite evitar la emisión de **144 g** de CO₂ por cada km recorrido lo que supone un **91%** de reducción de emisiones. En cuanto a las mezclas al 10% de biodiésel con diésel EN-590, las cantidades de CO₂ evitadas son de **12 y 15**

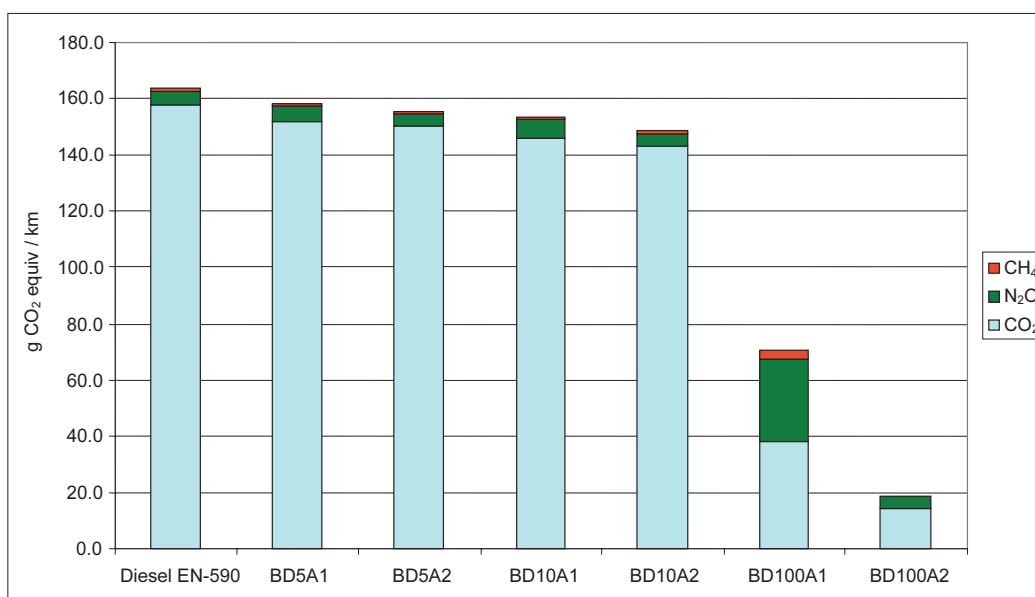


Figura 29. Emisiones de gases de efecto invernadero por km

g/km (8% y 9%) para la mezcla con biodiésel de aceites vegetales crudos y usados respectivamente. Las mezclas al 5% evitan la emisión de 6 y 8 g CO₂ por km recorrido (4% y 5%) en el caso de la mezcla con biodiésel de aceites vegetales crudos y usados respectivamente.

Si se tiene en cuenta las emisiones de todos los gases de efecto invernadero se obtiene que, la producción y uso de biodiésel de aceites vegetales crudos puro evita la emisión de 92 g de CO₂ equiv por cada km recorrido en comparación con la producción y uso de diésel EN-590, lo que supone un 57% de ahorro; y la producción y uso de biodiésel de aceites vegetales usados puro permite evitar la emisión de 144 g de CO₂ equiv por cada km recorrido lo que supone un 88% de reducción de emisiones. En cuanto a las mezclas al 10% de biodiésel con diésel EN-590, las cantidades de CO₂ evitadas son de 10 y 15 g/km (6% y 9%) para la mezcla con biodiésel de aceites vegetales crudos y usados respectivamente. Las mezclas al 5% evitan la emisión de 5 y 8 g CO₂ equivalente por km recorrido (3% y 5%) en el caso de la mezcla con biodiésel de aceites vegetales crudos y usados respectivamente.

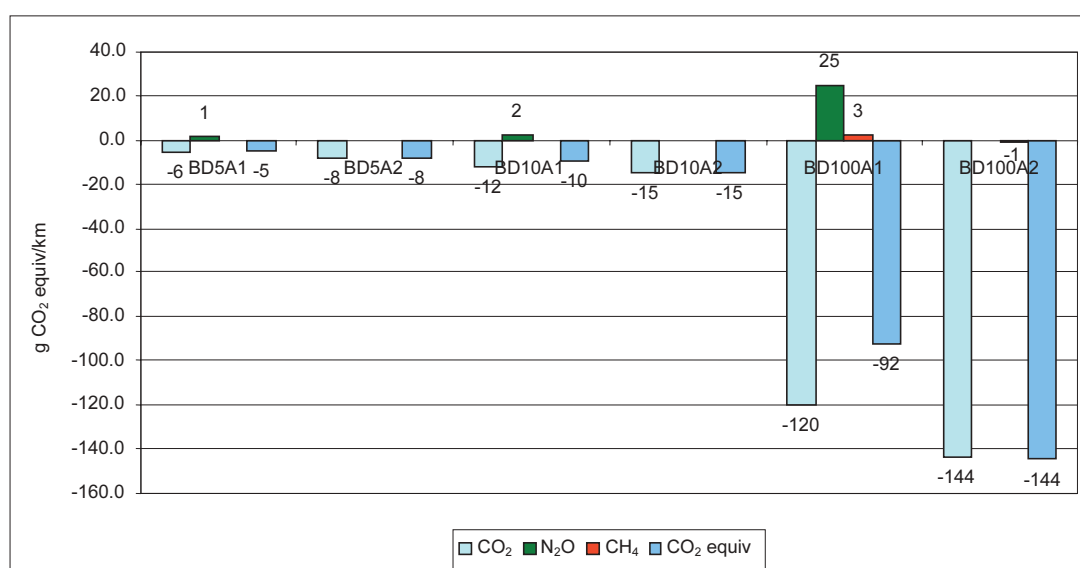


Figura 30. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas estudiadas

La distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero en las distintas etapas del ciclo de vida de las mezclas estudiadas se puede observar en la Figura 31 y en la Tabla 66

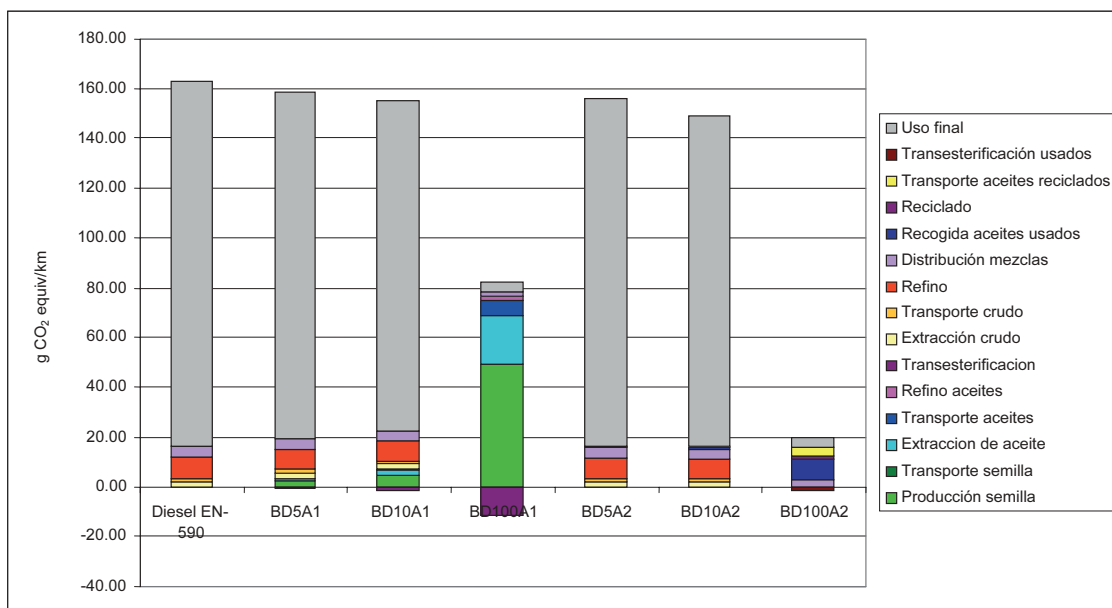


Figura 31. Distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero en las distintas etapas del ciclo de vida de las mezclas estudiadas.

Tabla 66. Emisiones de gases de efecto invernadero (g CO₂ equiv/km) en las distintas etapas del ciclo de vida de las mezclas estudiadas

g CO ₂ equiv/ km	Diésel EN-590	BD5A1	BD10A1	BD100A1	BD5A2	BD10A2	BD100A2
Producción semilla		2,31	4,64	49,07			
Transporte semilla		-0,01	-0,03	-0,30			
Extracción de aceite		0,93	1,87	19,80			
Transporte aceites		0,29	0,58	6,16			
Refino aceites		0,08	0,16	1,70			
Transesterificación		-0,53	-1,06	-11,20			
Extracción crudo	2,01	1,92	1,82		1,91	1,82	
Transporte crudo	1,70	1,62	1,54		1,62	1,54	
Refino	8,33	7,94	7,54		7,93	7,53	
Distribución mezclas	4,09	4,17	4,25	1,43	4,17	4,13	2,87
Recogida aceites usados					0,39	0,78	8,10
Reciclado					0,08	0,17	1,75
Transporte aceites reciclados					0,15	0,29	3,03
Transesterificación usados	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	-0,10	-1,07
Uso	146,87	139,29	132,68	4,13	139,81	132,85	4,32
Total	163,00	158,00	154,00	70,80	156,00	149,00	19,00

En el ciclo de vida del biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1), las mayores emisiones de gases de efecto invernadero se producen en la etapa de producción de semilla seguida de la etapa de extracción del aceite. Los valores negativos observados son debidos al procedimiento

de extensión de los límites del sistema efectuado para evitar la asignación de cargas ambientales a los distintos co-productos originados en los procesos incluidos en el análisis, tal y como se explicó al discutir los resultados de consumo de energía fósil.

En el ciclo de vida del biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2), las mayores emisiones son atribuibles al proceso de recogida de los aceites.

En cuanto a las mezclas de diésel EN-590 con biodiésel de los dos orígenes, las mayores emisiones se producen en la etapa de uso debido a la combustión de la parte de gasoil que entra a formar parte de la mezcla, seguido de la etapa de extracción de aceite en el caso del BD10A1 y de la etapa de refinado del gasoil en el resto de las mezclas.

SECCION IV. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

1 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS ANALIZADOS

Se han elegido una serie de variables sobre las que se ha realizado un análisis de sensibilidad de los resultados del ACV. Las variables elegidas para realizar el análisis de sensibilidad son las siguientes:

- **AS1. Origen de la semilla de colza.** En el escenario base se ha considerado que el 5% de la semilla de colza es de origen nacional y el 95% importada. Como escenario alternativo se ha considerado que toda la semilla de colza utilizada en el proceso es de origen nacional.
- **AS2. Consumo energético del proceso de extracción de aceite.** En el escenario base se han considerado los consumos energéticos tal y como ha sido proporcionados por las empresas que realizan estos procesos. Existen, sin embargo, importantes diferencias entre los consumos energéticos del proceso de extracción de los diferentes aceites, que parecen más debidas a las diferencias de diseño de las distintas plantas que a diferencias intrínsecas al proceso. Como escenario alternativo se ha considerado que todos los procesos de extracción de aceite, con excepción del aceite de palma, tienen los mismos consumos energéticos e iguales al mejor de los casos analizados que es la extracción de aceite de girasol.
- **AS3. Origen de los aceites para producción de biodiésel de aceites vegetales crudos.** En el escenario base se ha considerado que el porcentaje en que los diferentes aceites entran en la producción de biodiésel es el siguiente:
 - 40% soja
 - 25% colza
 - 25% palma
 - 10% girasol

Se han considerado varios escenarios alternativos:

AS31: 100% aceite de soja

AS32: 100% aceite de girasol

AS33: 100% aceite de colza

AS34: 100% aceite de palma

AS35: mezcla 40% aceite de colza y 60% de aceite de girasol, que minimiza el impacto sobre el calentamiento global a la vez que cumple con la norma ISO-14214

AS36: mezcla de todos los aceites que minimiza el impacto sobre el calentamiento global a la vez que cumple con la norma ISO-14214: 7,5% aceite de palma

25% aceite de colza

2,5% aceite de soja

65% aceite de girasol

- **AS4. Reglas de asignación entre los distintos co-productos.** En todos los casos en los que existen co-productos se han aplicado métodos de asignación alternativos para evaluar el efecto del método de asignación en los resultados del ACV realizado. El sistema de asignación alternativo en todos los casos es el de asignación por valor económico de los subproductos.

- **AS5. Saturación del mercado de glicerina.** En el escenario base se ha considerado que el subproducto de los procesos de transesterificación de aceites vegetales tanto crudos como usados, la glicerina, tiene una salida fácil al mercado y por tanto evita la producción de glicerina sintética. En el caso en que la producción de glicerina como subproducto de la producción de biodiésel sature el mercado de este producto, no sería justificable restar a la producción de biodiésel las cargas ambientales evitadas por la producción de glicerina. En este caso, los resultados del ACV se verían probablemente muy afectados. Por tanto, en este análisis de sensibilidad se ha considerado como escenario alternativo, que la glicerina producida en la producción de biodiésel no evita ningún proceso de producción de glicerina sintética y por tanto no se sustraen las cargas evitadas por ello.

2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

2.1 Origen de la semilla de colza

En el escenario base se ha considerado que el 5% de la semilla de colza es de origen nacional y el 95% importada. Como escenario alternativo se ha considerado que toda la semilla de colza utilizada en el proceso es de origen nacional.

2.1.1 Uso de energía primaria y energía fósil

El uso de energía primaria y fósil total en los dos escenarios analizados se muestra en la Tabla 67 y Tabla 68. Como puede observarse, la introducción de colza nacional aumenta los consumos energéticos en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos y sus mezclas.

Tabla 67. Energía primaria utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía primaria total Escenario base(MJ/km)	Energía primaria total Escenario colza nacional (MJ/km)
BD5A1	1,918	1,931
BD10A1	1,880	1,907
BD100A1	1,081	1,361

Tabla 68. Energía fósil utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía fósil Escenario base (MJ/km)	Energía fósil Escenario colza nacional (MJ/km)
BD5A1	1,883	1,889
BD10A1	1,817	1,830
BD100A1	0,489	0,617

2.1.2 Eficiencia energética y ratio de energía fósil

Las eficiencias energéticas empeoran sensiblemente en el caso del biodiésel puro de aceites vegetales crudos y ligeramente en las mezclas en el escenario de uso de colza nacional, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 69. Eficiencias energéticas del ciclo de vida y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

	Eficiencia energética del ciclo de vida (MJ _{combustible} /MJ _{energía primaria})		Ratio de energía fósil (MJ _{combustible} /MJ _{energía fósil})	
	Escenario base	Escenario colza nacional	Escenario base	Escenario colza nacional
BD5A1	0,984	0,977	1,002	0,999
BD10A1	1,004	0,990	1,038	1,032
BD100A1	1,746	1,386	3,856	3,058

2.1.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas en el caso del biodiésel de aceites vegetales crudos y sus mezclas son menores que en el escenario base, como puede observarse en la Figura 32. Así, las emisiones de gases de CO₂ evitadas por el sistema BD100A1 alcanzan los 104 g/km frente a los 120 g/km del caso base. Las emisiones de óxido nitroso se doblan, 50 g/km frente a 25 g/km del caso base. Y finalmente las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero en su conjunto suponen 49 g/km frente a los 92 g/km del caso base.

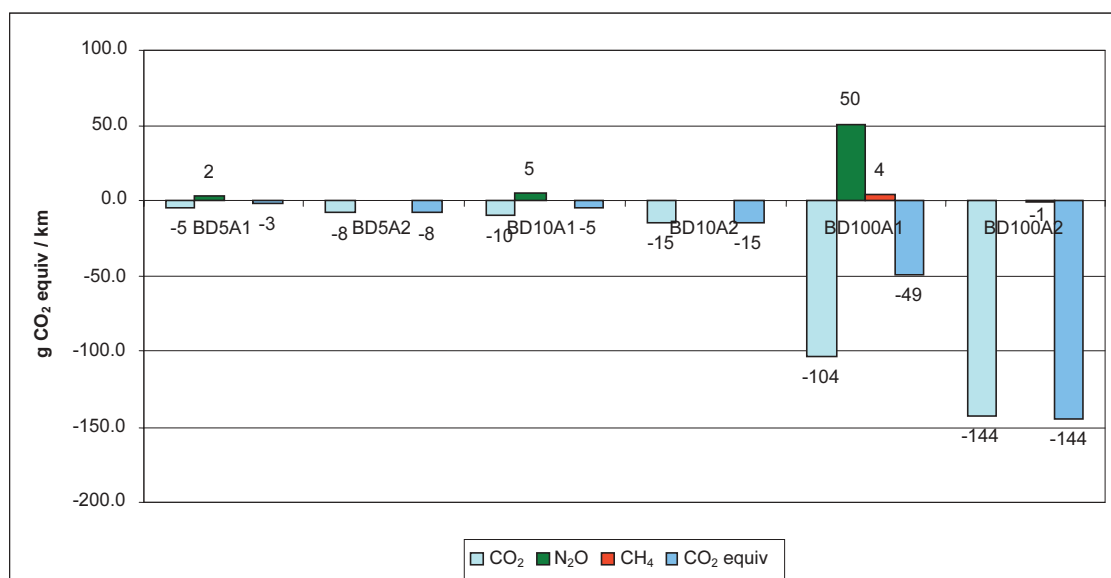


Figura 32. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas estudiadas

Este efecto puede observarse con mayor claridad en las siguientes figuras. El efecto es más reducido, aunque observable, en las mezclas con diésel.

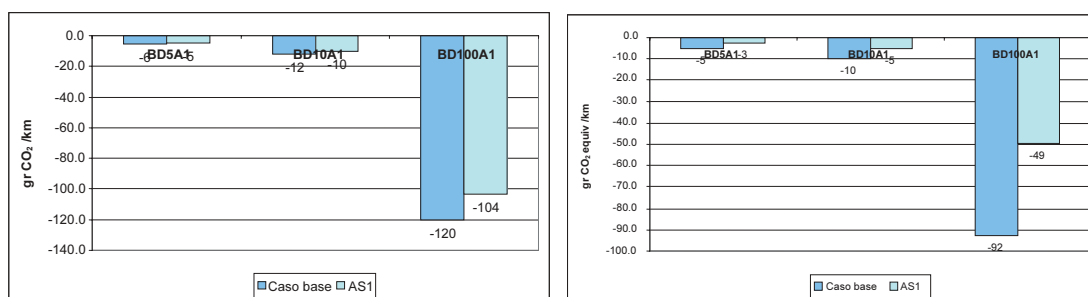


Figura 33. Emisiones evitadas de CO₂ y gases de efecto invernadero en los escenarios considerados

2.2 Consumo energético del proceso de extracción de aceite

En el escenario base se han considerado los consumos energéticos tal y como han sido proporcionados por las empresas que realizan estos procesos. Existen, sin embargo, importantes diferencias entre los consumos energéticos del proceso de extracción de los diferentes aceites, que parecen mas bien debidas a las diferencias de diseño de las distintas plantas que a diferencias intrínsecas al proceso. Como escenario alternativo se ha considerado que todos los procesos de extracción de aceite, con excepción del aceite de palma, tienen los mismos consumos energéticos e iguales al mejor de los casos analizados que es la extracción de aceite de girasol.

2.2.1 Uso de energía primaria y energía fósil

El uso de energía primaria y fósil total en los dos escenarios analizados se muestra en la Tabla 70 y Tabla 71. Como puede observarse, la optimización del consumo energético del proceso de extracción disminuye sensiblemente los consumos energéticos en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos y sus mezclas.

Tabla 70. Energía primaria utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía primaria total Escenario base(MJ/km)	Energía primaria total Escenario consumo energético optimizado (MJ/km)
BD5A1	1,918	1,909
BD10A1	1,880	1,861
BD100A1	1,081	0,880

Tabla 71. Energía fósil utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía fósil Escenario base (MJ/km)	Energía fósil Escenario consumo energético optimizado (MJ/km)
BD5A1	1,883	1,877
BD10A1	1,817	1,804
BD100A1	0,489	0,347

2.2.2 Eficiencia energética y ratio de energía fósil

Las eficiencias energéticas mejoran sensiblemente en el caso del biodiésel puro de aceites vegetales crudos y ligeramente en las mezclas en el escenario de optimización de los consumos energéticos de la extracción de aceite.

Tabla 72. Eficiencias energéticas del ciclo de vida y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

	Eficiencia energética del ciclo de vida (MJ _{combustible} /MJ _{energía primaria})		Ratio de energía fósil (MJ _{combustible} /MJ _{energía fósil})	
	Escenario base	Escenario consumo energético optimizado	Escenario base	Escenario consumo energético optimizado
BD5A1	0,984	0,989	1,002	1,006
BD10A1	1,004	1,014	1,038	1,046
BD100A1	1,746	2,146	3,856	5,441

2.2.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas en el caso del biodiésel de aceites vegetales crudos y sus mezclas son mayores que en el escenario base, como puede observarse en la Figura 34. Así, las emisiones de gases de CO₂ evitadas por el sistema BD100A1 ascienden a 130 g/km frente a los 120 g/km del caso base. Las emisiones de óxido nítrico se mantienen iguales que en el caso base. Y finalmente las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero en su conjunto ascienden a 103 g/km frente a los 92 g/km del caso base.

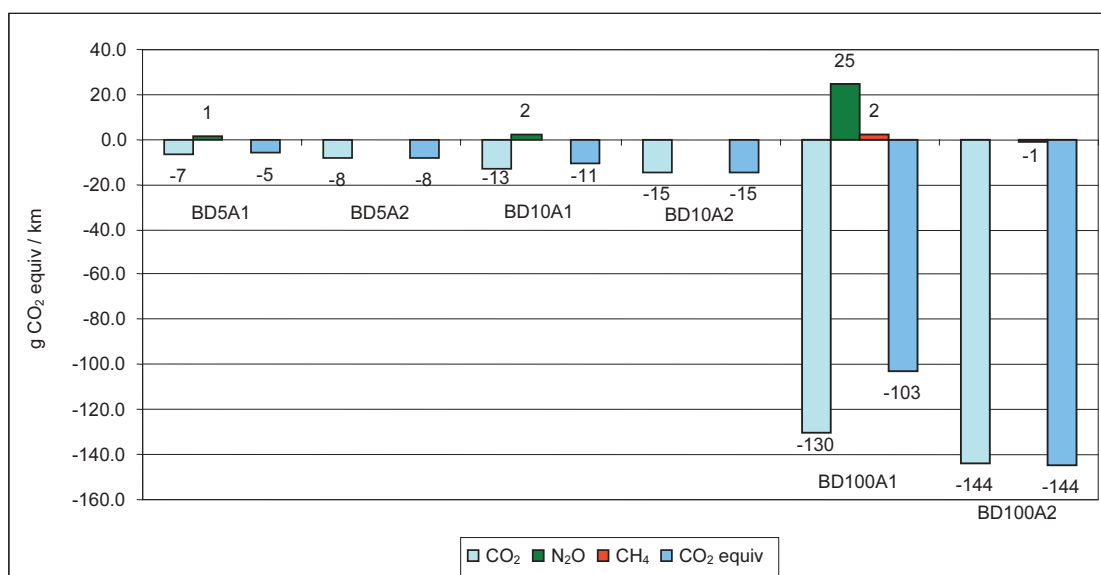


Figura 34. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero de las mezclas estudiadas

Este efecto puede observarse con mayor claridad en las siguientes figuras. El efecto es más reducido, aunque observable, en las mezclas con diésel.

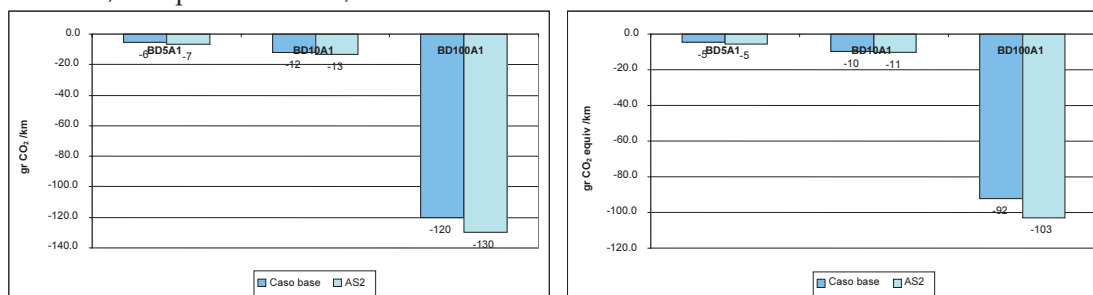


Figura 35. Emisiones evitadas de CO₂ y gases de efecto invernadero en los escenarios considerados

2.3 Origen de los aceites para producción de biodiésel de aceites vegetales crudos.

En el escenario base se ha considerado que el porcentaje en que los diferentes aceites entran en la producción de biodiésel es el siguiente:

- 40% soja
- 25% colza
- 25% palma
- 10% girasol

Se han considerado varios escenarios alternativos:

- **AS31:** 100% aceite de soja
- **AS32:** 100% aceite de girasol
- **AS33:** 100% aceite de colza
- **AS34:** 100% aceite de palma
- **AS35:** mezcla 40% aceite de colza y 60% de aceite de girasol, que minimiza el impacto sobre el calentamiento global a la vez que cumple con la norma ISO- 14214
- **AS36:** mezcla de todos los aceites que minimiza el impacto sobre el calentamiento global a la vez que cumple con la norma ISO-14214:
 - 7.5% aceite de palma
 - 25% aceite de colza
 - 2.5% aceite de soja
 - 65% aceite de girasol

2.3.1 Uso de energía primaria y energía fósil

El uso de energía primaria total en los escenarios analizados se muestra en la Tabla 73 y en la Figura 36.

Tabla 73. Energía primaria utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los escenarios considerados

	Energía primaria total						
	EB	AS31	AS32	AS33	AS34	AS35	AS36
BD5A1	1,918	1,907	1,907	1,907	1,951	1,907	1,910
BD10A1	1,880	1,858	1,857	1,858	1,946	1,857	1,864
BD100A1	1,081	0,850	0,836	0,850	1,779	0,842	0,911

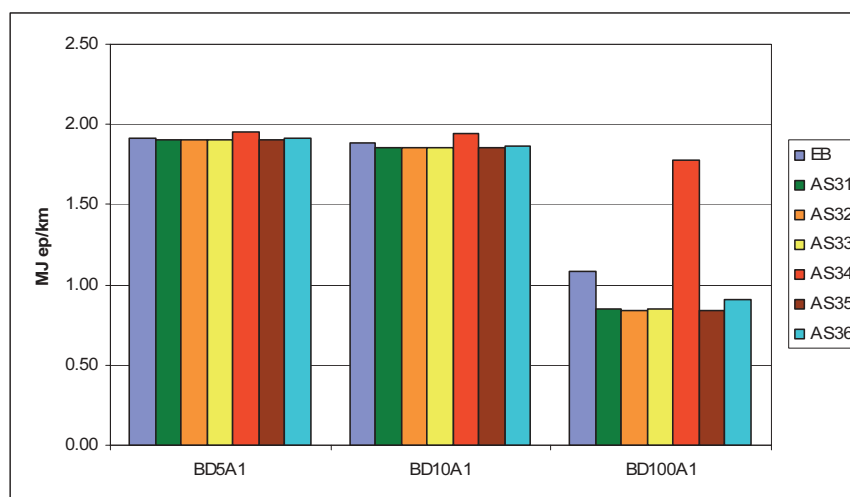


Figura 36. Consumo de energía primaria en los escenarios considerados

Como se puede observar el uso de un 100% de aceite de palma (AS34) incrementa de forma muy importante el consumo de energía primaria del biodiésel producido, y por tanto el uso de este aceite en las mezclas incrementa los consumos energéticos del escenario base y del AS36. El resto de los biodiésel de aceites puros (AS31, AS32 y AS33) tienen consumos de energía primaria similares. El mismo efecto se observa en el consumo de energía fósil, aunque en este caso el consumo de energía fósil de biodiésel de girasol es algo superior al de colza y soja.

Tabla 74. Energía fósil utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los escenarios considerados

	Energía fósil total						
	EB	AS31	AS32	AS33	AS34	AS35	AS36
BD5A1	1,883	1,880	1,882	1,880	1,893	1,881	1,882
BD10A1	1,817	1,810	1,816	1,810	1,837	1,813	1,816
BD100A1	0,489	0,411	0,469	0,411	0,701	0,446	0,471

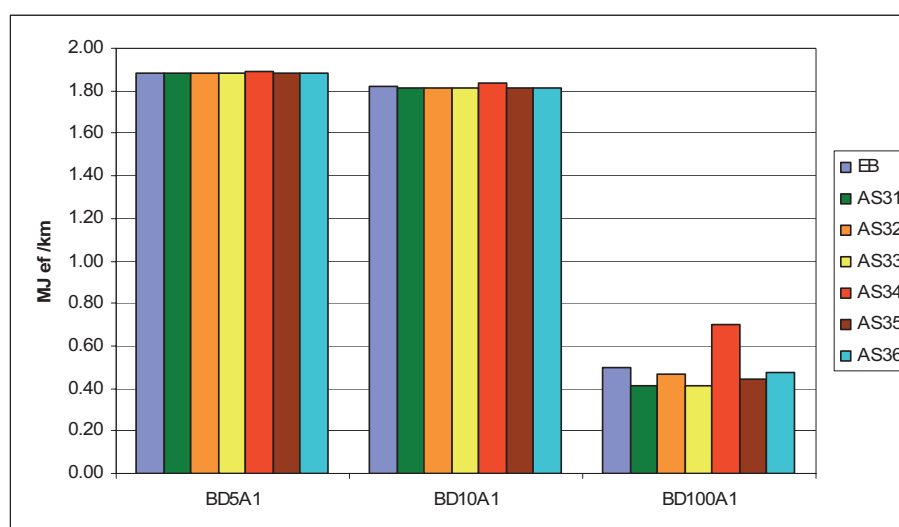


Figura 37. Consumo de energía fósil en los escenarios considerados

2.3.2 Eficiencia energética y ratio de energía fósil

El biodiésel que presenta peor eficiencia energética y peor ratio de energía fósil es el biodiésel producido utilizando sólo aceite de palma (AS34). El biodiésel que presenta mejor eficiencia energética del ciclo de vida es el biodiésel de girasol, mientras que los que presentan mejor ratio de energía fósil son el biodiésel de colza y el biodiésel de soja.

Tabla 75. Eficiencias energéticas del ciclo de vida y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

	Eficiencia energética del ciclo de vida (MJ _{combustible} /MJ _{energía primaria})						
	EB	AS31	AS32	AS33	AS34	AS35	AS36
BD5A1	0,984	0,989	0,990	0,989	0,967	0,990	0,988
BD10A1	1,004	1,016	1,016	1,016	0,970	1,016	1,012
BD100A1	1,746	2,221	2,257	2,221	1,061	2,242	2,072

	Ratio de energía fósil (MJ _{combustible} /MJ _{energía fósil})						
	EB	AS31	AS32	AS33	AS34	AS35	AS36
BD5A1	1,002	1,004	1,003	1,004	0,997	1,003	1,003
BD10A1	1,038	1,043	1,039	1,043	1,027	1,041	1,039
BD100A1	3,856	4,591	4,023	4,591	2,691	4,233	4,011

2.3.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de CO₂ evitadas en los distintos escenarios analizados se muestran en la Figura 38; y las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas en la Figura 39.

En ambas figuras se puede ver como el biodiésel de palma presenta peor balance de CO₂ y gases de efecto invernadero. Las emisiones de CO₂ evitadas son, en el caso del biodiésel de palma, de 80 g/km frente a los 120 g/km del escenario base; y las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas de 66 g/km frente a los 92 g/km del escenario base.

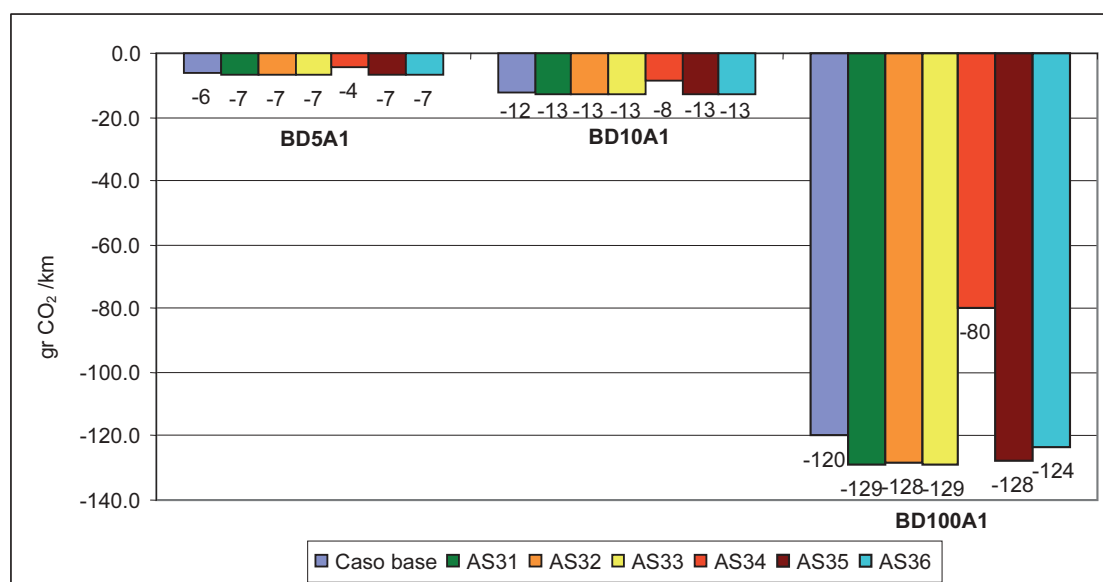


Figura 38. Emisiones evitadas de CO₂ y gases de efecto invernadero en los escenarios considerados

El resto de los biodiésel de diferentes orígenes tiene unos valores de emisiones de CO₂ evitadas similares. En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero en su conjunto destaca el biodiésel de girasol que presenta mayores emisiones evitadas, 107 g/km frente a los 92 g/km del caso base y de los biodiésel de soja y colza.

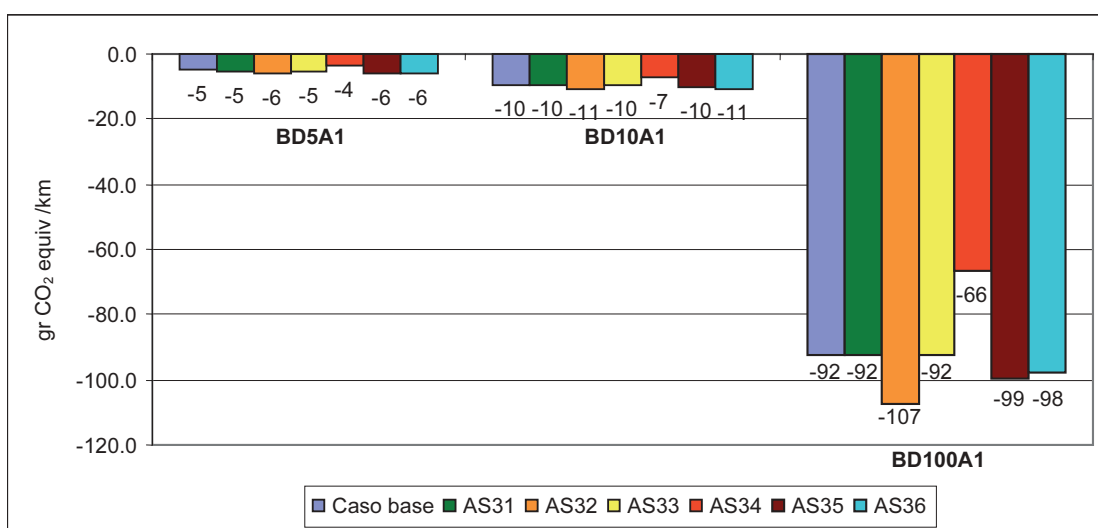


Figura 39. Emisiones evitadas de CO₂ y gases de efecto invernadero en los escenarios considerados

2.4 Reglas de asignación entre los distintos co-productos

En todos los casos en los que existen co-productos se han aplicado métodos de asignación alternativos para evaluar el efecto del método de asignación en los resultados del ACV realizado. El sistema de asignación alternativo en todos los casos es el de asignación por valor económico de los subproductos.

2.4.1 Uso de energía primaria y energía fósil

El uso de energía primaria total y energía fósil en los dos escenarios analizados se muestra en las tablas Tabla 76 y Tabla 77. Como se puede observar, el sistema de asignación influye de forma muy importante en los resultados obtenidos, de forma que utilizando el sistema de asignación por valor económico, el consumo de energía se incrementa en todos los casos y especialmente en los biodiésel puros.

Tabla 76. Energía primaria utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía primaria total Escenario base (MJ/km)	Energía primaria total Asignación precio (MJ/km)
Diésel En-590	1,956	2,212
BD5A1	1,918	2,204
BD10A1	1,880	2,196
BD100A1	1,081	1,974
BD5A2	1,893	2,155
BD10A2	1,828	2,097
BD100A2	0,599	0,995

Tabla 77. Energía fósil utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía fósil total Escenario base (MJ/km)	Energía fósil total Asignación precio (MJ/km)
Diésel En-590	1,949	2,203
BD5A1	1,883	2,169
BD10A1	1,817	2,135
BD100A1	0,489	1,411
BD5A2	1,862	2,123
BD10A2	1,772	2,040
BD100A2	0,086	0,484

2.4.2 Eficiencia energética y ratio de energía fósil

Al incrementarse los consumos energéticos, las eficiencias empeoran sensiblemente tal y como se puede observar en la Tabla 78.

2.4.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero también se ven afectadas por la elección del sistema de asignación, así para el caso de la asignación por valor económico de los co-productos,

Tabla 78. Eficiencias energéticas del ciclo de vida y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

	Eficiencia energética del ciclo de vida (MJ _{combustible} /MJ _{energía primaria})		Ratio de energía fósil (MJ _{combustible} /MJ _{energía fósil})	
	Escenario base	Escenario asignación por valor económico	Escenario base	Escenario asignación por valor económico
Diésel En-590	0,965	0,853	0,968	0,857
BD5A1	0,984	0,856	1,002	0,870
BD10A1	1,00	0,859	1,038	0,884
BD100A1	1,746	0,956	3,856	1,338
BD5A2	0,997	0,876	1,014	0,889
BD10A2	1,032	0,900	1,065	0,925
BD100A2	3,149	1,896	21,861	3,901

los gases de efecto invernadero evitados por ambos biodiésels y sus mezclas disminuyen, tal y como se puede ver en la **Figura 40**.

Las emisiones evitadas de CO₂ son, en el escenario de asignación por valor económico (AS4), **101 g/km** en el caso del BD100A1 y de **140** en el caso del BD100A2, frente a los 120 g/km y 144g/km del caso base respectivamente. En cuanto a los gases de efecto invernadero en total, las emisiones evitadas en el escenario AS4 son de **79 g CO₂ equiv/km** y **140 g CO₂ equiv/km** frente a los 92 y 144 g/km del caso base.

Este efecto se puede ver de forma más clara en las figuras 40, 41 y 42:

2.5 Saturación del mercado de glicerina

En el escenario base se ha considerado que el subproducto de los procesos de transesterificación de aceites vegetales tanto crudos como usados, la glicerina, tiene una salida fácil al mercado y por tanto evita la producción de glicerina sintética. En el caso en que la producción de glicerina como subproducto de la producción de biodiésel sature el mercado de este producto, no sería justificable restar a la producción de biodiésel las cargas ambientales evitadas por la producción de glicerina evitada. En este caso, los resultados del ACV se verían probablemente muy afectados. Por tanto, en este análisis de sensibilidad se ha considerado como escenario alternativo, que la glicerina producida en la producción de biodiésel no evita ningún proceso de producción de glicerina sintética y por tanto no se sustraen las cargas evitadas por ello.

2.5.1 Uso de energía primaria y energía fósil

El uso de energía primaria total y energía fósil en los dos escenarios analizados se muestra en las tablas Tabla 79 y Tabla 80. Como se puede observar, los consumos energéticos de la producción y distribución de ambos biodiésel y sus mezclas se incrementan de forma notable.

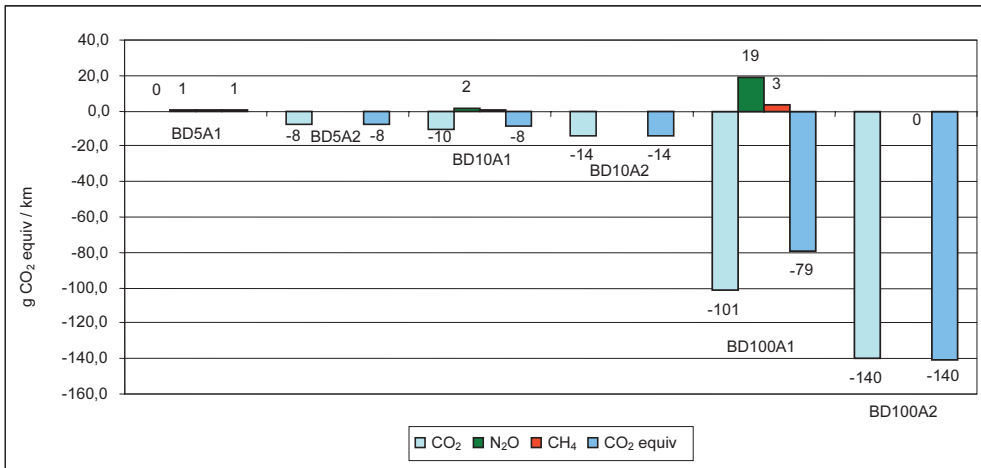


Figura 40. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero en el escenario de asignación por valor económico de los co-productos

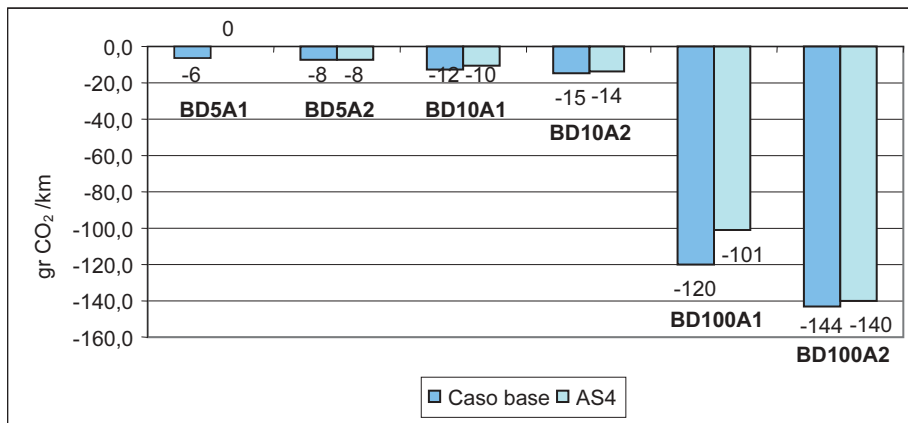


Figura 41. Emisiones evitadas de CO₂ en los escenarios considerados

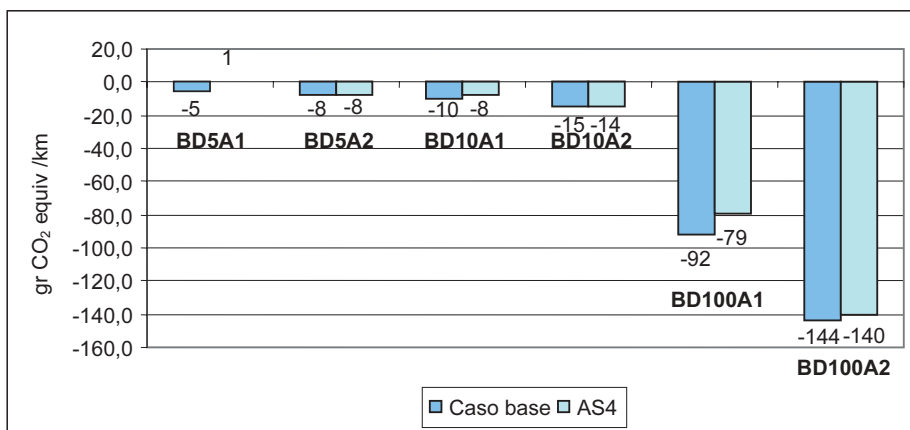


Figura 42. Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero en los escenarios considerados

Tabla 79. Energía primaria utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía primaria total Escenario base (MJ/km)	Energía primaria total Saturación glicerina (MJ/km)
Diésel En-590	1,956	1,956
BD5A1	1,918	1,947
BD10A1	1,880	1,937
BD100A1	1,081	1,688
BD5A2	1,893	1,913
BD10A2	1,828	1,868
BD100A2	0,599	1,009

Tabla 80. Energía fósil utilizada para la producción y distribución de las mezclas estudiadas en los dos escenarios considerados

	Energía fósil total Escenario base (MJ/km)	Energía fósil total Saturación glicerina (MJ/km)
Diésel En-590	1,949	1,949
BD5A1	1,883	1,912
BD10A1	1,817	1,874
BD100A1	0,489	1,089
BD5A2	1,862	1,881
BD10A2	1,772	1,811
BD100A2	0,086	0,489

2.5.2 Eficiencia energética y ratio de energía fósil

Al incrementarse los consumos energéticos, las eficiencias empeoran sensiblemente tal y como se puede observar en la Tabla 81.

Tabla 81. Eficiencias energéticas del ciclo de vida y ratio de energía fósil de las mezclas estudiadas

	Eficiencia energética del ciclo de vida (MJ _{combustible} /MJ _{energía primaria})		Ratio de energía fósil (MJ _{combustible} /MJ _{energía fósil})	
	Escenario base	Escenario Saturación glicerina	Escenario base	Escenario Saturación glicerina
Diésel En-590	0,965	0,965	0,968	0,968
BD5A1	0,984	0,969	1,002	0,987
BD10A1	1,00	0,974	1,038	1,007
BD100A1	1,746	1,118	3,856	1,733
BD5A2	0,997	0,987	1,014	1,003
BD10A2	1,032	1,010	1,065	1,042
BD100A2	3,149	1,870	21,861	3,858

2.5.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción y uso de ambos tipos de biodiésel se ven bastante afectadas, de forma que las emisiones evitadas en comparación con la producción y uso de diésel EN-590 son ahora menores, tal y como se puede ver en las siguientes figuras.

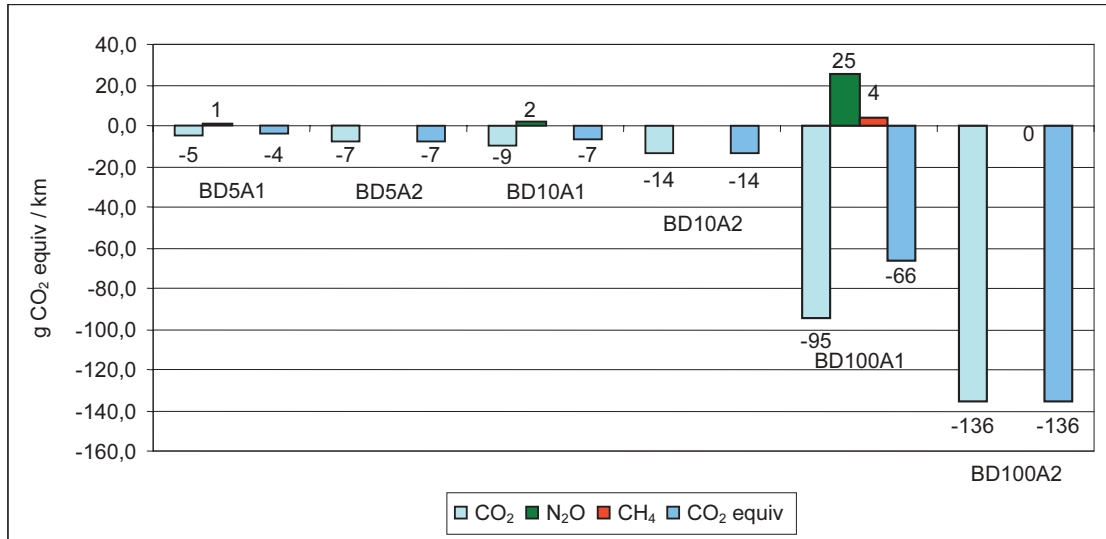


Figura 43. Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero en el escenario de saturación del mercado de glicerina

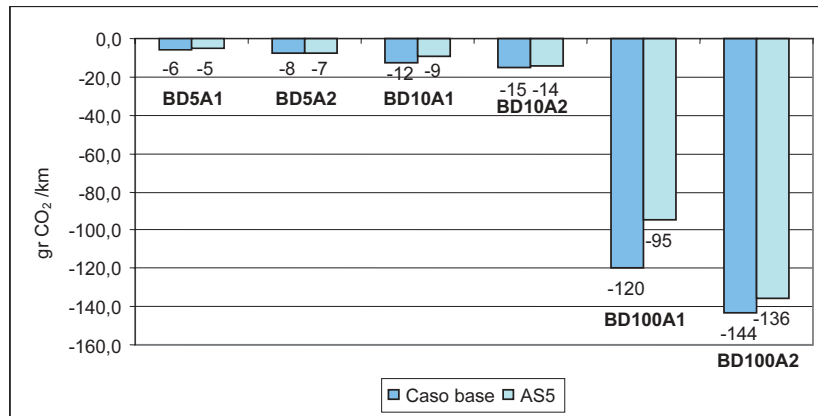


Figura 44. Emisiones evitadas de CO₂ en los escenarios considerados

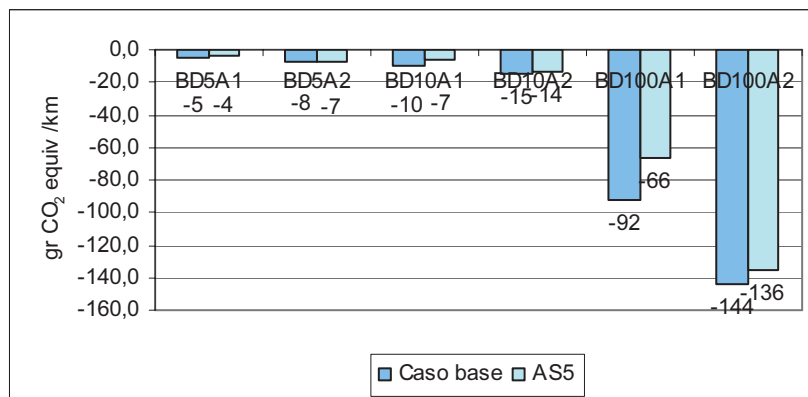


Figura 45. Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero en los escenarios considerados

2.6 Resumen de resultados del análisis de sensibilidad

A continuación se resumen de forma conjunta los principales resultados de los análisis de sensibilidad realizados.

- **AS1. Origen de la semilla de colza.**
- **AS2. Consumo energético del proceso de extracción de aceite.**
- **AS3. Origen de los aceites para producción de biodiésel de aceites vegetales crudos.**
 - AS31: 100% aceite de soja
 - AS32: 100% aceite de girasol
 - AS33: 100% aceite de colza
 - AS34: 100% aceite de palma
 - AS35: mezcla 40% aceite de colza y 60% de aceite de girasol, que minimiza el impacto sobre el calentamiento global a la vez que cumple con la norma ISO- 14214
 - AS36: mezcla de todos los aceites que minimiza el impacto sobre el calentamiento global a la vez que cumple con la norma ISO-14214: 7.5% aceite de palma; 25% aceite de colza; 2.5% aceite de soja y 65% aceite de girasol
- **AS4. Reglas de asignación entre los distintos co-productos**
- **AS5. Saturación del mercado de glicerina.**

2.6.1 Uso de energía y eficiencias energéticas

En las Figuras 46 y 47 se puede observar la variación en el consumo de energía primaria y energía fósil producida por los distintos supuestos considerados en el análisis de sensibilidad realizado. Los análisis realizados afectan sobre todo al sistema BD100A1 y sus mezclas. El parámetro que más afecta al consumo de energía primaria y fósil de todos los sistemas es el uso del método de asignación por valor económico (AS4), que incrementa mucho estos consumos. Seguidamente, el parámetro que más afecta a los sistemas que contienen biodiésel de aceites vegetales crudos es el porcentaje de los distintos aceites en la producción de biodiésel, en especial el porcentaje de aceite de palma (AS34) que incrementa mucho los consumos de energía. Todos los sistemas con biodiésel de cualquier origen se ven afectados por la saturación del mercado de glicerina (AS5) de forma bastante importante. Finalmente, el origen de la semilla de colza (AS1) afecta también a los resultados de consumos energéticos del BD100A1 y sus mezclas, incrementándose sensiblemente.

Estos efectos observados en los consumos energéticos se aprecian también de forma similar en las eficiencias energéticas.

2.6.2 Emisiones de gases de efecto invernadero

Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, las Figuras 48 y 49 muestran los resultados obtenidos en cuanto a emisiones evitadas respecto al diésel EN-590 de las distintas mezclas estudiadas, en los análisis de sensibilidad realizados. Como se puede observar, el parámetro que más afecta a los resultados es el porcentaje de cada tipo de aceite que entra en la mezcla, especialmente el porcentaje de aceite de palma. El uso de aceite de palma en la mezcla empeora de forma muy importante los resultados en cuanto a emisiones evitadas. Otro parámetro que afecta negativamente a los resultados es el uso de semilla de colza nacional, seguido del uso del método de asignación por valor económico y la saturación del mercado de glicerina.

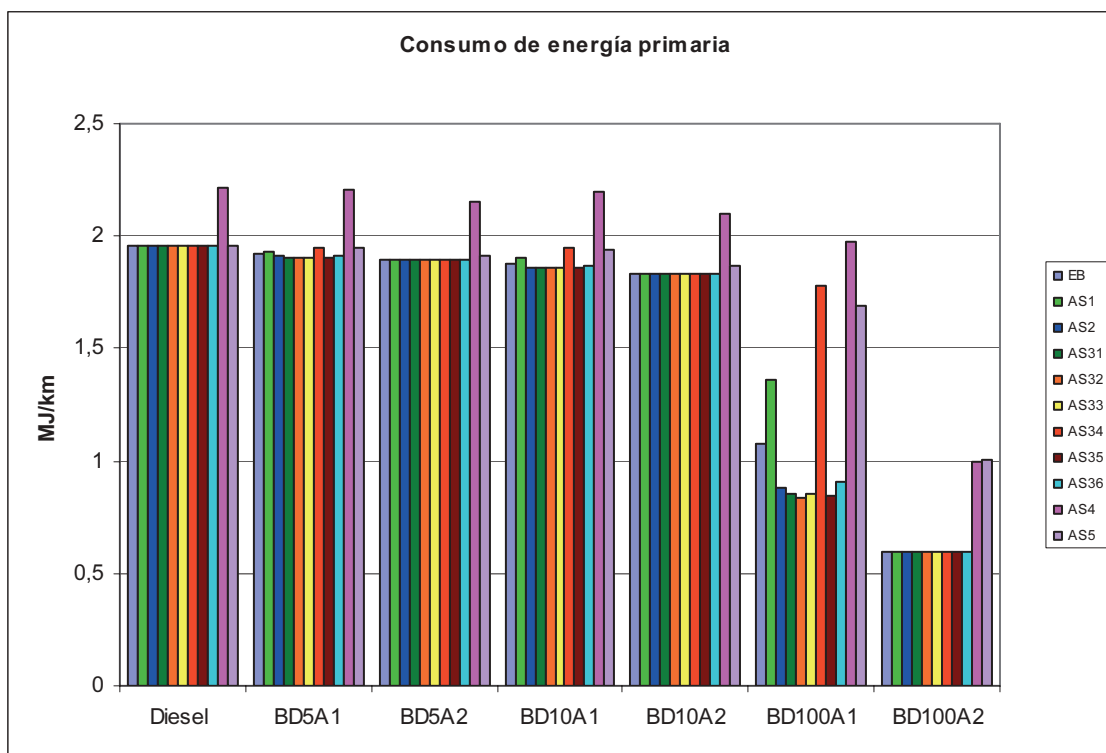


Figura 46. Consumos de energía primaria de la producción y uso de los combustibles analizados en los distintos escenarios del análisis de sensibilidad propuesto

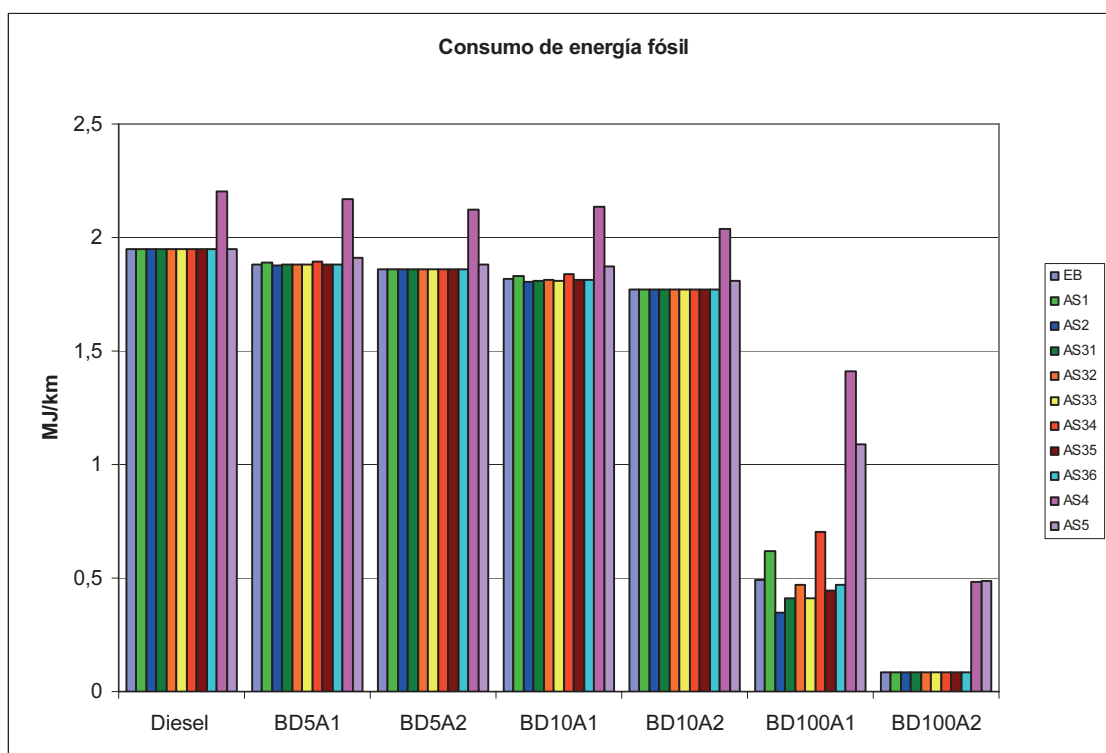


Figura 47. Consumos de energía fósil de la producción y uso de los combustibles analizados en los distintos escenarios del análisis de sensibilidad propuesto

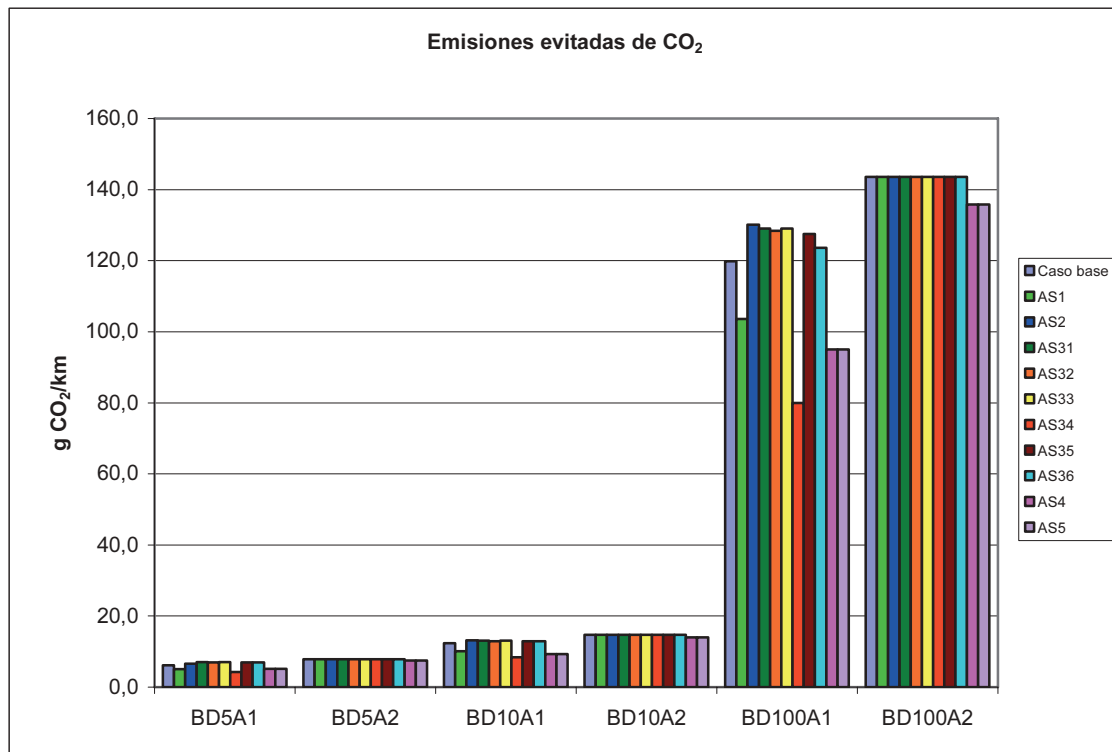


Figura 48. Emisiones de CO₂ evitadas por las distintas mezclas estudiadas respecto al diésel EN-590 en los distintos análisis de sensibilidad realizados

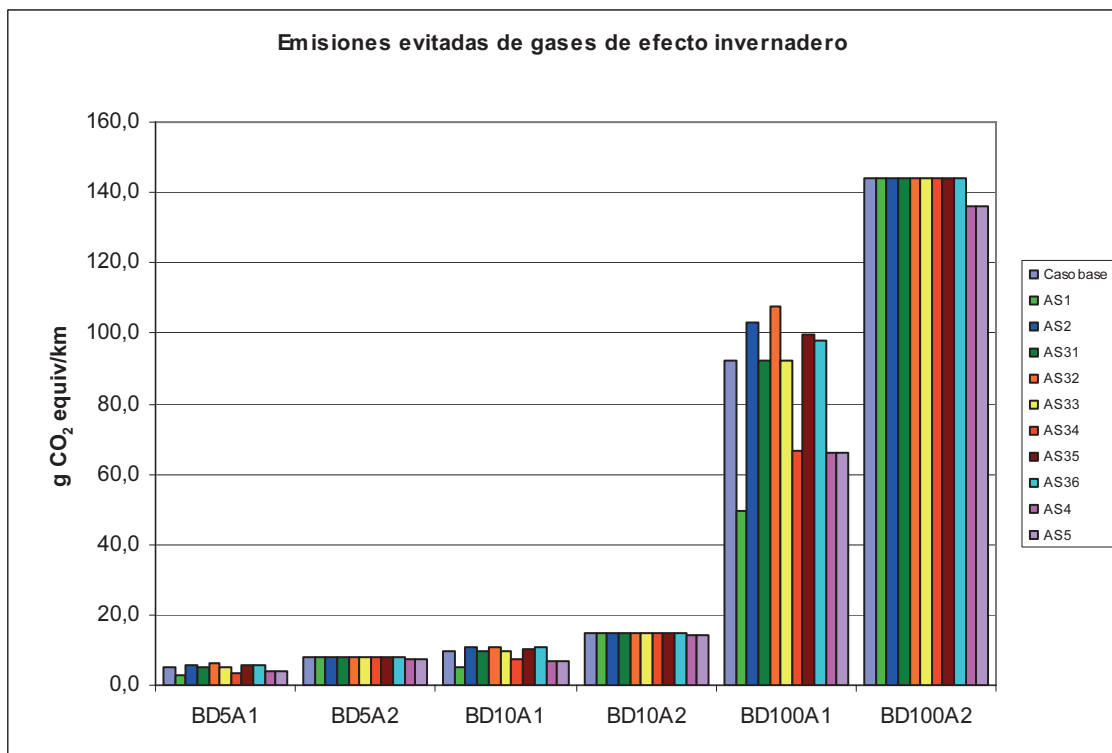


Figura 49. Emisiones de CO₂ evitadas por las distintas mezclas estudiadas respecto al diésel EN-590 en los distintos análisis de sensibilidad realizados

2.6.3. Rangos de variación de los resultados

Los análisis de sensibilidad realizados permiten estimar un rango de posible variación de los resultados obtenidos tanto de consumos energéticos como de emisiones. Estos rangos se presentan en las siguientes figuras y se resumen en la Tabla 82.

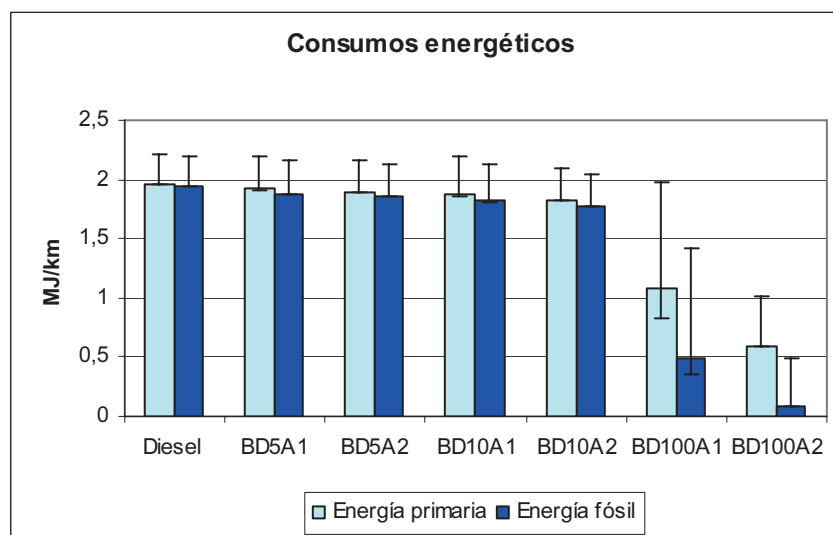


Figura 50. Rangos de variación de los consumos energéticos de las mezclas estudiadas

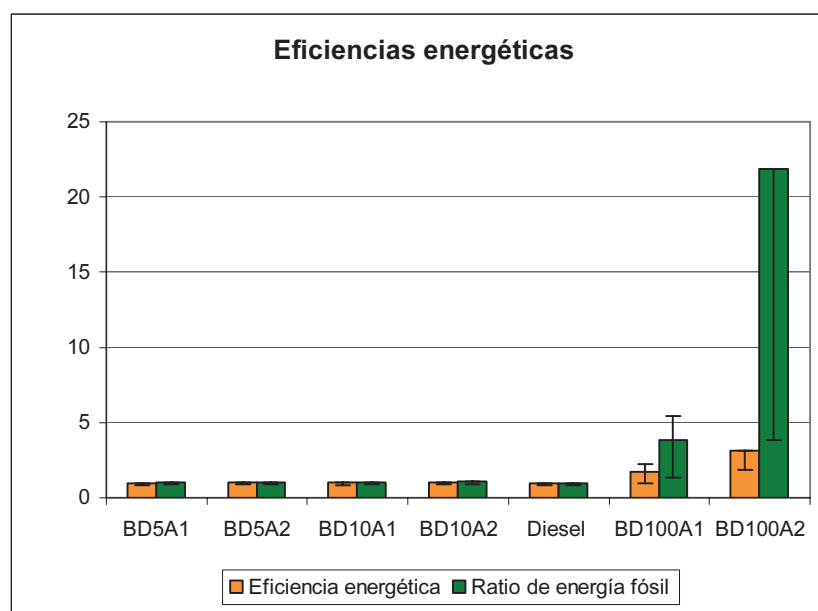


Figura 51. Rangos de variación de las eficiencias energéticas de las mezclas estudiadas

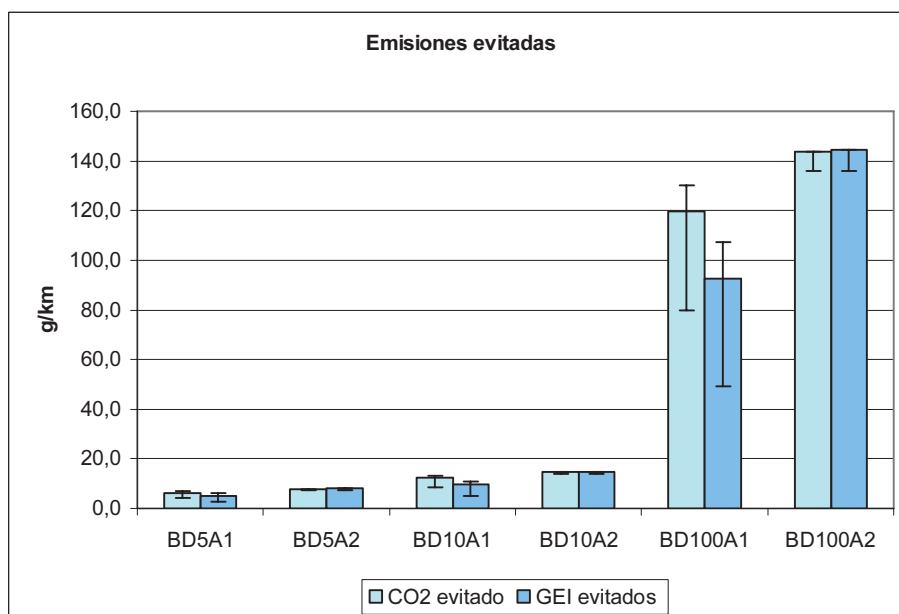


Figura 52. Rangos de variación de emisiones evitadas de gases de efecto invernadero de las mezclas estudiadas

Tabla 82. Rangos de variación de los resultados

	Consumos energéticos (MJ/km)		Eficiencias energéticas		Emisiones evitadas (g/km)	
	Energía primaria	Energía fósil	Eficiencia energética del ciclo de vida	Ratio de energía fósil	CO ₂	GEI
Diésel	1,96 (1,96-2,21)	1,95 (1,95-2,20)	0,96 (0,85-0,96)	0,97 (0,86-0,97)		
BD5A1	1,92 (1,91-2,20)	1,88 (1,88-2,17)	0,98 (0,86-0,99)	1,00 (0,87-1,01)	6 (4-7)	5 (3-6)
BD5A2	1,89 (1,89-2,16)	1,86 (1,86-2,12)	1,00 (0,88-1,00)	1,01 (0,89-1,01)	8 (7-8)	8 (7-8)
BD10A1	1,88 (1,86-2,20)	1,82 (1,870-2,13)	1,00 (0,86-1,02)	1,04 (0,88-1,05)	12 (8-13)	10 (5-11)
BD10A2	1,83 (1,83-2,10)	1,77 (1,77-2,04)	1,03 (0,90-1,03)	1,06 (0,92-1,06)	15 (14-15)	15 (14-15)
BD100A1	1,08 (0,84-1,97)	0,49 (0,35-1,41)	1,75 (0,96-2,26)	3,86 (1,34-5,44)	120 (80-130)	92 (49-107)
BD100A2	0,60 (0,60-1,01)	0,09 (0,09-0,49)	3,15 (1,87-3,15)	21,86 (3,86-21,86)	144 (136-144)	144 (136-144)

SECCIÓN V. ÁREAS DE MEJORA

En el estudio de ACV realizado se han detectado algunas áreas de mejora de los sistemas estudiados que se describen a continuación.

1 CONSUMOS ENERGÉTICOS

En la producción y distribución de biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1), los mayores consumos energéticos se producen en las etapas de extracción de aceite y de producción de semilla, por lo que la optimización energética de estos procesos permitiría mejorar el balance energético del biodiésel de aceites vegetales crudos y de las mezclas que lo contienen.

En el proceso de extracción de aceite, la principal entrada de energía es el gas natural y la electricidad. Por tanto:

La instalación de sistemas de cogeneración en las plantas de extracción de aceite permitiría optimizar el consumo energético.

En este estudio de ACV sólo se ha considerado, según los datos proporcionados, que existe cogeneración en la extracción de aceite de soja.

Asimismo, la utilización de biomasa residual, como en el caso de la extracción de aceite de palma, permitiría reducir el consumo de energía fósil del proceso.

La siguiente etapa más consumidora de energía es la producción agrícola. En la etapa agrícola, los mayores consumos energéticos provienen de la fabricación de fertilizantes. Para mejorar la eficiencia energética de esta etapa sería importante reducir al máximo los aportes de fertilizantes así como el número de labores de los cultivos y aumentar el rendimiento en semilla de los mismos. Por ello, como áreas de mejora importantes se proponen las siguientes:

- **Reducir al máximo los consumos de fertilizantes y las labores de los cultivos actuales sin comprometer sus rendimientos en semilla por hectárea,**
- y/o
- **Encontrar nuevos cultivos para obtener biodiésel con mayores rendimientos de biomasa por ha y de bajos requerimientos en fertilización y labores**

En el análisis de sensibilidad realizado analizando el efecto del porcentaje relativo de cada tipo de aceite en la producción de biodiésel se ha observado que el aceite de palma es el que más consumos energéticos tiene, por lo que para optimizar los mismos se propone:

- **Minimizar el contenido de aceite de palma en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos.**

En la producción y distribución de biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2), el proceso de mayor consumo energético es el de recogida del aceite y transporte a la planta de reciclado. Como se ha señalado anteriormente, en el cálculo de las necesidades de transporte del proceso

de recogida de aceites vegetales usados se ha considerado el caso óptimo en el que los vehículos van a plena carga en cada uno de los viajes que realizan a cada una de las localidades en las que se recoge aceite. Este sería la situación óptima aunque es difícil decir, a partir de los datos disponibles, si se trata o no de la situación real. Por tanto:

La optimización del sistema de recogida mediante una cuidadosa planificación de los recorridos y de los momentos de recogida de forma que se pudiera minimizar el número de viajes realizados y maximizar la carga de los vehículos permitiría reducir al máximo los consumos energéticos de esta etapa.

La siguiente etapa en cuanto a consumo energético es la de transformación del aceite en biodiésel. En el proceso de transesterificación de aceites vegetales usados, la principal entrada de energía es el gasoil y la electricidad. Por tanto:

La instalación de sistemas de cogeneración en las plantas de producción de biodiésel de aceites vegetales usados permitiría optimizar el consumo energético.

En el ciclo de vida del diésel EN-590 y sus mezclas con biodiésel de distintos orígenes (BD10A1 y BD10A2), el proceso que más energía consume es el refinado del crudo. La optimización energética de este proceso permitiría asimismo mejorar el balance energético del diésel y de las mezclas que lo contienen.

La etapa de uso tiene también un papel clave en la optimización energética de los tres sistemas debido al potencial de reducción del consumo de combustible en el vehículo, que hace que la energía necesaria para recorrer un km se reduzca. Por tanto, un área de mejora general para los cinco sistemas sería:

Reducir el consumo de combustible del vehículo por km recorrido

2 CAMBIO CLIMÁTICO

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, las mayores emisiones del ciclo de vida del biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1) se producen en la etapa de extracción de aceite debido a la combustión del gas natural o gasoil de la planta para producir la energía térmica necesaria en el proceso. Las emisiones de CO₂ de la planta de biodiésel podrían reducirse sustancialmente si, en vez de gas natural, se usa biomasa residual ya que todo el CO₂ emitido habría sido fijado previamente en la etapa de crecimiento de la biomasa. Por tanto, como área de mejora importante se propone:

La utilización de biomasa residual como fuente de energía térmica para el proceso podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos y de las mezclas que lo contienen.

En este estudio de ACV sólo se ha considerado que se quema biomasa residual en el caso de la extracción de aceite de palma.

Asimismo, la optimización de los consumos energéticos lleva asociada la minimización de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que:

La instalación de sistemas de cogeneración en las plantas de extracción de aceite permitiría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La siguiente etapa emisora de gases de efecto invernadero en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos es la etapa agrícola debido fundamentalmente a las emisiones de óxido nitroso originadas por el uso de fertilizantes nitrogenados, y en menor medida a las emisiones procedentes de los tractores agrícolas y a las derivadas del uso de energía para la fabricación de fertilizantes. Así, las áreas de mejora propuestas en el apartado anterior para esta etapa son también válidas aquí. Asimismo, la temporalización adecuada de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados con el objetivo de evitar que exista un exceso de nitrógeno en el suelo en los momentos en los que las condiciones son adecuadas para que se produzca el fenómeno de nitrificación, y la utilización de compuestos cuya nitrificación sea más difícil, podría reducir de forma efectiva las emisiones de óxido nitroso en el suelo. Por tanto, como áreas de mejora se propone:

- **Reducir al máximo los consumos de fertilizantes y las labores de los cultivos actuales sin comprometer sus rendimientos en semilla por hectárea,**
- y/o**
- **Encontrar nuevos cultivos para obtener biodiésel con mayores rendimientos de biomasa por hectárea y de bajos requerimientos en fertilización y labores**
- **Elegir de forma adecuada el momento y el producto para realizar la fertilización nitrogenada en el cultivo.**

En el análisis de sensibilidad realizado analizando el efecto del porcentaje relativo de cada tipo de aceite en la producción de biodiésel se ha observado que el aceite de palma es el que más emisiones de gases de efecto invernadero tiene, por lo que para minimizar los mismos se propone

- **Minimizar el contenido de aceite de palma en la producción de biodiésel de aceites vegetales crudos**

En la producción y distribución de biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2), el proceso de mayores emisiones de gases de efecto invernadero es el de recogida del aceite y transporte a la planta de reciclado. Como se ha señalado anteriormente, en el cálculo de las necesidades de transporte del proceso de recogida de aceites vegetales usados se ha considerado el caso óptimo en el que los vehículos van a plena carga en cada uno de los viajes que realizan a cada una de las localidades en las que se recoge aceite. Por tanto:

La optimización del sistema de recogida mediante una cuidadosa planificación de los recorridos y de los momentos de recogida de forma que se pudiera minimizar el número de viajes realizados y maximizar la carga de los vehículos permitiría reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero de esta etapa.

Asimismo el uso de biodiesel en los vehículos de recogida mejoraría las emisiones de gases de efecto invernadero de esta etapa.

La siguiente etapa en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero es la de transformación del aceite en biodiésel. En el proceso de transesterificación de aceites vegetales usados, las emisiones se producen por la combustión del gasoil para cubrir las necesidades térmicas del proceso. La optimización del consumo de combustible permitiría reducir las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero. Por tanto:

La instalación de sistemas de cogeneración en las plantas de producción de biodiésel de aceites vegetales usados permitiría reducir al máximo las emisiones gases de efecto invernadero.

En el ciclo de vida del diésel EN-590 y las mezclas con biodiésel de distintos orígenes, las mayores emisiones de gases de efecto invernadero se producen en la etapa de uso del vehículo, por lo que:

la reducción del consumo de combustible en el vehículo permitiría reducir de forma importante las emisiones de gases de efecto invernadero.

SECCIÓN VI. CONCLUSIONES

Del estudio de ACV realizado se extraen importantes conclusiones:

1 BALANCES ENERGÉTICOS

- Los balances energéticos del ciclo de vida de las mezclas estudiadas son tanto mejores cuanto mayor es el contenido de biodiésel, especialmente biodiésel de aceites vegetales usados, en la mezcla.

- El biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1) permite un ahorro de energía primaria de un 45% comparado con el diésel EN-590.
- El biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2) permite un ahorro de un 75% de energía primaria comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A1 permite un ahorro de energía primaria de un 4% comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A2 permite un ahorro de un 7% de energía primaria comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A1 permite un ahorro de energía primaria de un 2% comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A2 permite un ahorro de un 3% de energía primaria comparado con el diésel EN-590.
- El biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1) permite un ahorro de energía fósil de un 75% comparado con el diésel EN-590.
- El biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2) permite un ahorro de un 96% de energía fósil comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A1 permite un ahorro de energía fósil de un 7% comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A2 permite un ahorro de un 9% de energía fósil comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A1 permite un ahorro de energía fósil de un 3% comparado con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A2 permite un ahorro de un 4% de energía fósil comparado con el diésel EN-590.

2 CAMBIO CLIMÁTICO

- Las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero son tanto menores cuanto mayor es el contenido de biodiésel, especialmente biodiésel de aceites vegetales usados, en la mezcla.

- El biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1) evita que se emitan 120 g CO₂ (91%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- El biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2) evita que se emitan 144 g CO₂ (84%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A1 evita la emisión de 12 g CO₂ (8%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A2 evita la emisión de 15 g CO₂ (9%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A1 evita la emisión de 6 g CO₂ (4%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A1 evita la emisión de 8 g CO₂ (5%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- El biodiésel de aceites vegetales crudos (BD100A1) evita que se emitan 92 g de gases de efecto invernadero (CO₂ equiv) (57%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- El biodiésel de aceites vegetales usados (BD100A2) evita que se emitan 144 g CO₂ equiv (88%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A1 evita la emisión de 10 g CO₂ equiv (6%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD10A2 evita la emisión de 15 g CO₂ equiv (9%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A1 evita la emisión de 5 g CO₂ equiv (3%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.
- La mezcla BD5A2 evita la emisión de 8 g CO₂ equiv (5%) por cada km recorrido en comparación con el diésel EN-590.

3 CONCLUSIONES DE LOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD REALIZADOS

- El parámetro que más afecta al consumo de energía primaria y fósil de todos los sistemas es el uso del método de asignación por valor económico (AS4), que incrementa mucho estos consumos.
- Seguidamente, el parámetro que más afecta a los sistemas que contienen biodiésel de aceites vegetales crudos es el porcentaje de los distintos aceites en la producción de biodiésel, en especial el porcentaje de aceite de palma (AS34) que incrementa mucho los consumos de energía.
- Todos los sistemas con biodiésel de cualquier origen se ven afectados por la saturación del mercado de glicerina (AS5) de forma bastante importante.
- El origen de la semilla de colza (AS1) afecta también a los resultados de consumos energéticos del BD100A1 y sus mezclas, incrementándose sensiblemente.
- Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el parámetro que más afecta a los resultados es el porcentaje de cada tipo de aceite que entra en la mezcla, especialmente el porcentaje de aceite de palma. El uso de aceite de palma en la mezcla empeora de forma muy importante los resultados en cuanto a emisiones evitadas.

- Otro parámetro que afecta negativamente a los resultados es el uso de semilla de colza nacional, seguido del uso del método de asignación por valor económico y la saturación del mercado de glicerina.

4 CONCLUSIONES SOBRE LAS ÁREAS DE MEJORA IDENTIFICADAS

- Como posibles mejoras de los procesos productivos de biodiésel que permitirían optimizar los balances energéticos y las emisiones de las mezclas que lo contienen se han identificado las siguientes:

- Reducir el consumo de fertilizantes.
- Reducir las labores culturales.
- Optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados para minimizar las emisiones de óxido nítrico.
- Implantar sistemas de cogeneración en las plantas de extracción de aceite y transformación a biodiésel.
- Minimizar el porcentaje de aceite de palma en la producción de biodiésel.
- Optimizar el sistema de recogida de aceite para minimizar el número de viajes y maximizar la carga de los vehículos.

- Sería ilustrativo estudiar el efecto en el uso de energía y emisiones de gases de efecto invernadero de la utilización de biomasa residual como fuente de energía en el proceso de extracción de aceite.
- Se considera asimismo importante evaluar el efecto de usar otros cultivos alternativos para la obtención de biodiésel que tengan altos rendimientos de semilla por hectárea y bajos requerimientos de labores y fertilización.

SECCIÓN VII. REFERENCIAS

- “AFDC Advanced Vehicle Testing Activity Ford Taurus and Chevrolet Lumina.” (1999) National Renewable Energy Laboratory. Department of Energy, U.S.
- Ademe, Ecobilan PriceWaterhouseCoopers, Direm (2002). Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filères de production de biocarburants. Rapport technique.
- Agri y AgriFood Canada, 1999 citado en Shapouri, 2002.
- Ahmed, I., Decker, J. y Morris, D. 1994. “How much energy does it take to make a gallon of Soydiésel” Institute of Local Self Reliance. <http://www.eere.energy.gov/afdv/pdfs/3229.pdf>
- Alternative Fuel Data Centre www.afdc.nrel.gov
- Arcoumanis, C. (2000) “A Technical Study on Fuels Technology related to the Auto-Oil II Programme. Final Report. Volume II: Alternative Fuels” European Commissions Directorate-General for Energy.
- Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos: <http://www.aop.es/home.asp>
- Audsley, E. et al. (1997) Harmonization of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report. Concerted Action AIR3-CT94-2028.
- Battelle (1998) “Ohio’s First Ethanol-Fueled Light-Duty Fleet: Final Study Results” NREL/SR-540-25237 U.S. Department of Energy’s National Renewable Energy Laboratory and State of Ohio Department of Administrative Services.
- Battelle y Bechtel (1999) “Fact Sheet: Ford Taurus Ethanol-Fueled Sedan” National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Laboratory.
- Blonk et al, 1997 citado en SimaPro, Eco-indicator 99. <http://www.pre.nl/eco-indicator99/default.htm>
- Bouwman, A.F. 1994. “Method to estimate direct nitrous emissions from agricultural soils” Report 773004004. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands.
- Brandberg, A., Johansson, A. y Roth, A. (1992) “The Life of Fuels. Motor Fuels from Source to End Use” Ecotraffic AB.
- BUWAL250 Ökoinventare für Verpackungen. Schriftenreihe Umwelt Nr 250 Part 1 and 2. second edition.
- Cardim, A. *Análisis de ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de inventarios de ciclo de vida de cemento.* Universidad de Barcelona. 2001.
- Ceuterick, D. y Spirinckx, C. 1997. Comparative LCA of Biodiesel and Fossil Diesel Fuel. Final Report. VITO.
- Chapman, P.F. and Roberts, F. (1983) “Metal resources and energy” Butterworths monographs in materials.
- Cowell, S. (1998) “Environmental Life Cycle Assessment of Agricultural Systems: integration into decision-making”. PhD Thesis. CES University of Surrey.
- Cowell, S. and Clift, R. Introductory manual for life cycle assessment. Version 1. Centre for Environmental Strategy, University of Surrey.
- Dai, W., Cheemalamarri, S., Curtis, E. W., Boussarsar, R. y Morton, R. K. (2003) “Engine Cycle Simulation of Ethanol and Gasoline Blends” Society of Automotive Engineers.

- DeLucchi, M.A. (1991) "Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity" Volumen 1. Argonne National Laboratory's Center for Transportation Research, Energy Systems División.
- DeLucchi, M.A. (1993). Emissions of Greenhouse Gases from the Use of Transportation Fuels and Electricity". Argonne National Laboratory.
- DeLucchi, M.A. (2003) "A Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle Emissions from Transportation Fuels, Motor Vehicles, Transportation Modes, Electricity Use, Heating and Cooking Fuels, and Materials" Institute of Transportation Studies, University of California.
- DeLucchi M.A. y Lipman, T.E (1997) "Emissions of Non-CO2 greenhouse gases from the production and use of transportation fuels and electricity" Institute of Transportation Studies, University of California.
- Department of Energy U.S. 1991, 1990 citados en Sheehan, J. et al. (1998).
- DGT. 2003. "Anuario estadístico general. 2003". Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior.
- ECOFYS/NOVEM; 2003. "Biofuels in the Dutch market: a fact finding study" Report 2 GAVE 03.12.
- Economopoulos, A.P.. 1993. "Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. A guide to rapid source inventory techniques and their use en formulating environmental control strategies. Part One: Rapid inventory techniques in environmental pollution". World Health Organization.
- Edwards, R., Griesemann, J-C., Larivé, J-F. Y Mahieu, V. (2003) "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context" CONCAWE, European Council for Automotive R&D y European Commission. Directorate-General Joint Research Center.
- EFMA, 2000a Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry Booklet No. 6 of 8: Production Of Ammonium Nitrate and Calcium Ammonium Nitrate.
- EFMA, 2000b Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry Booklet No.8 of 8: Production Of NPK fertilizers by the Mixed Acid Route.
- EIA, www.eia.doe.gov , www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/gas.html#ngc.
- Elsayed, M. A., Matthews, R. y Mortimer, N. D. (2003) "Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options" Project Number B/B6/00784/REP URN 03/836. Resources Research Unit Sheffield Hallam University.
- Energy Information Administration de Estados Unidos, EIA, 1995b citados en Sheehan, J. et al (1998).
- Environmental Protection Agency (2003) "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42" Volumen 1: Stationary Point and Area Sources, 5ª Edición.
- EPA (2000) Exposure and human health reassessment of 2,3,7,8,tetraclorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and related compounds. PartI. Volume 2. Sources of dioxin like compound in the United States.
- EPA, 1990 citados en Sheehan, J. et al (1998).
- EPA, 2003. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: *Stationary Point and Area Sources* EPA, 2003. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: *Stationary Point and Area Sources*.
- Erviti. (2006) Comunicación personal.

- European Commission (2000). A technical study on Fuel Technology related to Auto Oil II Programme. Final report. Volume II: Alternative Fuels.
- IFEU. (2000) Bioenergy for Europe: Which Ones Fit Best? A Comparative Analysis for the Community. Final Report. Under support of DG XII, in collaboration with BLT, CLM, CRES, CTI, FAT, INRA, and TUD, Heidelberg 2000.
- Faiz, A. Weaver C. S. Y Walsh, M.P. (1996) "Air Pollution from Motor Vehicles". The World Bank, Washington, D.C.
- Fernández, J., Curt, M.D., Agiada, P., and E. Magro. (2003) "Carbon allocation in a sweet sorghum –soil system using ^{14}C as a tracer" J Plant Nutr. Soil. Sci. 166, 23-30.
- Friedrich and Bickel (2001). Environmental external costs of transport. Springer.
- Frischknecht, R. Bollens, U. Bosshart, S., Ciot, M., Ciseri, L. Doka, G., Dones, R., Gantner, U., Hirschler, R. Martin, A. 1996. *Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz.* Auflage No 3. Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, www.energieforschung.ch, Bundesamt für Energie (Htsg), Bern.
- Frischknecht, R. Braunschweig, A. Hofstetter, P. Suter, P. (1999) "Modelling human health effects of radioactive releases in Life Cycle Impact Assessment" Accepted for publication in Environmental Impact Assessment Review.
- General Motors Corporation, Argonne National Laboratory, BP, ExxonMobil, Shell (2001) Well to wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems-North American Analysis. Executive Summary report.
- Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS) Versión 4.1 (2002) Öko-Institut, Institute for Applied Ecology e.V.: <http://www.oeko.de>
- Goedkoop M. and R. Spriensma. (2000). The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report.
- Goedkoop, M. (1995) The Eco-indicator 95. Project for NOH. Novem, Utrecht and RIVM, Bilthoven.
- Graboski, Michale S. (2002) "Fossil Energy Use in the Manufacture of Corn Ethanol" National Corn Growers Association.
- Green, M.B. (1987) "Energy in Pesticide Manufacture, Distribution and Use" In: Z.R. Helsel (Ed) Energy in Plant Nutrition and Pest Control" Elsevier.
- Guinée, J., Heijungs, L.van Oers, D. Van de Meent, T. Vermeire and M. Rikken.(1996) "LCA Impact Assessment of Toxic Releases" Study by the CML, Leiden and RIVM, Bilthoven. Dutch Ministry of Housing, Saptial Planning and Environment, The Hague.
- Habersatter K. y Widmer, P. (1991) Okobilanz von Packstoffen, Stand 1991 Schriftenreihe des BUWAL 132.
- Halberg, N y P. Nielsen (2003) LCAFOOD. www.lcafood.dk
- Hansen, E. 2000. "Substance flow analysis for dioxins in Denmark" www.mst.dk
- Heijungs, R. J.B. Guinée and G. Huppés. (1997) Impact categories for Natural resources and land use. CML report 138. CML Leiden University, Leiden.
- Heijungs, R. J.B. Guinée, G. Huppés, R.M. Lankreijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. Van Duin and H.P. de Goede. (1992 a) . "Environmental Life Cycle Assessment of products" CML Leiden.
- Heijungs, R. J.B. Guinée, G. Huppés, R.M. Lankreijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. Van Duin and H.P. de Goede. (1992 b) . "Environmental Life Cycle Assessment of products. Backgrounds" CML Leiden.

- Hickman, A.J. (1999) "Methodology for Calculation Transport Emissions and Energy Consumption" Project Report SE/491/98. Transport Research Laboratory.
- Ho, 1989 citado en Shapouri et al. (2002).
- Hofstetter, P. (1998) "Prespectives in Life Cycle Impact Assessment; A Structured Approach to Combine Models of the Technosphere, Ecosphere and Valuesphere" Klowers Academic Publishers, 1998. Info: www.wkap.nl/book.htm/07923-8377-X
- Houghtoin, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callender, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds) (1996) "Climate change 1995. The Science of Climate Change" Contribution of Working Group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge.
- IDAE, 2002. "Prospectiva energética y CO₂. Escenarios 2010".
- IDIADA Automotive Technology (2003) "Technical Report: Comparison of fuel tank evaporative emissions from E0 and E5 petrol" REPSOL YPF, Abengoa Bioenergía, CEPSA, Ebro Puleva.
- IDIADA Automotive Technology (2003) "Technical Report: Comparison of vehicle emissions at European Union annual average temperatures from E0 and E5 petrol" REPSOL YPF, Abengoa Bioenergía, CEPSA, Ebro Puleva.
- Instituto Nacional de Estadística, www.ine.es
- IEA, 2004. "Biofuels for transport. An international Perspective".
- IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual (Volume 3) Agriculture.
- Jolliet O and Crettaz. (1996) Critical surface time 95, a Life Cycle Impact Assessment methodology, including exposure and fate. Presented at the workshop of the EU concerted action on Harmonization of Life Cycle assessment in agriculture. Lyngby, DK, 15-19 January 1996.
- Jolliet, O. (1996) "Toxic impacts" In Udo de Haes(ed) "Towards a methodology for Life Cycle Impact assessment" Report of the SETAC-Europe Workgroup on Life Cycle Impact Assessment. Final Draft.
- Kaiser, E.A.; Khors, K.;Kücke, M.; Schnug, O.; Heinemeyer, O.; y Munch, J.C. (1998) "Nitrous oxide release from arable soil: importance of N_fertilization, crops and temporal variation. *Soil Biol. Biochem* Vol 30 No 12. pp 1553-1563.
- Keney y DeLuca, 1992 citado en Shapouri et al. (2002).
- Kenneth J. Kelly, Bailey, B. K. Y Coburn, T. C. (1996) "Federal Test Procedure Emissions Test Results from Ethanol Variable-Fuel Vehicle Chevrolet Lumina" U.S. Department of Energy.
- Köllner, T. (1999) "Species-pool Effect Potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity" Submitted to accepted by the Journal of Cleaner Production.
- Kuzyakov, Y. y Domanski, G. (2000) "Carbon input by plants into the soil. Reviw" Institute of Soil Science and Land Evaluation, University of Hohenheim, Alemania. Institute of Agrophysics Lublin, Polonia.
- Lechón, Y. (1996) "Persistencia y Predicción del Comportamiento en el Suelo de Herbicidas de Cultivos Herbáceos". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Lewis, C.A. (1997). Fuel and Energy Production Emission Factors. MEET project: Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions for Transport. Task 3.4. Deleverable 20.

- Lindfords, L-G., K. Christiansen, L. Hoffman, Y. Virtanen, V. Juttilla, O-J Hanssen, A. Ronning, T. Ekvall and G. Finnveden. (1995) "Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment" Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Lipman, Timothy E. y Delucchi, M.A. (1997) "Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases from the Production and Use of Transportation Fuels and Electricity" Institute of Transportation Studies, University of California.
- Lipman, Timothy E. y Delucchi, M.A. (2002) "Emissions of Nitrous Oxide and Methane from Conventional and Alternative Fuel Motor Vehicles" Climatic Change.
- Lonja de Toledo www.agrodigital.com
- Lorenz, D. y Morris, D. (1995) "How Much Energy Does It Take to Make a Gallon of Ethanol."
- LowCVP Working Group. (2004). "Well-to-wheel Evaluation for production of ethanol from wheat" FWG-P-04-024.
- Luna, M. (2003) "Utilización del bioetanol en los motores". Curso sobre Combustibles alternativos para el transporte: Biocombustibles y Pilas de Combustible. CIEMAT, Madrid.
- Lyons, D. (2002) "Western european cross-country oil pipelines 30-year performance statistics". Report No. 1/2. CONCAWE.
- Margni, M., Jolliet, O., Rossier D. and Crettaz, P., (2002). *Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems*. Agriculture, Ecosystems and Environment, AGEE 93/1-3.
- Marland y Turhollow, 1990 citado en Shapouri, H. et al, (2002).
- Meent D. and Klepper, O. (1997). "Mapping the Potential affected Fraction (PAF) of Species as an Indicator of Generic Toxic Stress." RIVM report 607504001, June 1997.
- MP: Gover, SA Collings, GT Hitchcock, DP Moon and GT Wilkins, ETSU (1996) "Alternative Road Transport Fuels- A Preliminary Life-cycle Study for the UK". Volumen 2. Department of Trade and Industry, Department of Transport.
- Müller- Wenk, 1998. "Depletion of abiotic resources weighted on the base of virtual impacts of lower grade deposits in future" IWÖ Diskussionsbeitrag Nr 57, Universität St Gallen. ISBN 3-906501-57-0.
- Murray, C.; López, A. (1996) "The global burden of disease" WHO, World Bank and Harvard School of Public Health. Boston.
- Nakawiro, Thanawat (2004) "Fuel diversification in electricity generation and the sustainable development". World Energy Congress <http://www.worldenergy.org>
- Obrador, A.F. (1993) "Persistencia de la Atrazina en el Suelo y Fitotoxicidad de sus Residuos" Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular Genética, Microbiología y Fitopatología. Universidad Politécnica de Madrid.
- Organization of the Petroleum Exporting Countries: <http://www.opec.org>
- Pimentel, 1991 y 2001 citado en Shapouri, H. et al (2002).
- Pitstick, M. (1995) "Emissions from Ethanol- and LPG-Fueled Vehicle" Center for Transportation Research. Argonne National Laboratory.
- Pleanjai, S., Gheewala, S.H. y Garivait, S. 2004. Environmental Evaluation of Biodiesel. Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)". 1-4 December. Hua Hin. Thailand.
- Red Eléctrica (2004) "El Sistema Eléctrico Español. Informe 2004".

- Reinhardt, G. Quirin, M., Gärtner, S.O.; and Pehnt, M. (2004) "Comparison of well to wheel analyses of biofuels for transportation" IFEU. 2nd World Conference and Technology Exhibition for Energy, Industry, and Climate Protection". 10-14 May 2004, Rome.
- Rollefson, J., Fu, G. and Chan, A. (2004) "Assessment of the Environmental performance and sustainability of biodiesel in Canada" National Research Council Canada.
- Scharmer, K and Gosse, G. 1996. "Ecological Impact of Biodiesel Production and Use in Europe".
http://www.bl.t.bmlf.gv.at/vero/liquid_biofuels_newsletter/Liquid_biofuels_newsletter-07_e.pdf
- Shapouri, H., Duffield, J.A. y Graboski, M.S. (1995) "Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol". U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, AER.721.
- Shapouri, H., James, A. Duffield Wang, M. (2002) "The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update" United States Department of Agriculture.
- Sheehan J. , Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M., y Shapouri, H. (1998). Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus.
- Sheehan, J., Aden, A., Paustian, K., Killian, K., Brenner, J., Walsh, M y Nelson, R. (2004) "Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol" National Bioenergy Center, National Renewable Energy Laboratory. Journal of Industrial Ecology.
- Skiba, U., I.P. Mac Taggart. K.A. Smith, K.J. Hargreaves and D. Fowler. (1996) "Estimates of nitrous oxide emissions from soil in the UK". Energy Convers. Mgmt Vol 37, nos 6-8 pps 1303-1308-
- Steen B. and S-O. Ryding (1992) The EPS Enviro-Accounting method. IVL. Goteborg.
- Swedish Ministry of Industry, Employment and Communications. "Report pursuant to Directive 2003/30/EC of 8 May 2003 on the promotion and the use of biofuels or other renewable fuels".
- Unnasch, S., Browning, L. Y Montano, M. (1996) "Evaluation of Fuel-Cycle Emissions on a Reactivity Basis". Acurex Environmental Project No. 8522. California Air Resources Board. Acurex Environmental Corporation.
- Vallejo, A. 2003. Comunicación personal.
- VIEWLS: Clear Views on Clean Fuels. European Commission DG-TREN Project- ID: NNE-5-2002-00619. <http://www.viewls.org>
- Wang, M., et al. (2002) citados en Andress, D. (2002) "Ethanol Energy Balances" UT-Battelle LLC y Office of Biomass Programs Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Department of Energy.
- Wang, M.Q. (1999) GREET 1.5. Transportation Fuel Cycle Model. Volume 1: Methodology, Development, Use and Results.
- Wauchoupe, 1978 citado en Sheehan, J. et al (1998).
- Weidema, B.P.; Pedersen, R.L.; Drivsholm, T.S. (1995). "Life cycle screening of food products-two examples and some methodological proposals" Danish Academy of Technical Sciences- ATV, Lyngby.
- Weidema, B.P. (1999) "System expansions to handle co-products of renewable materials" Presentation summaries of the 7th LCA Case Studies Symposium SETAC-Europe, pp 45-48.
- Weidema, B.P. (2001) "Avoiding Co-Product Allocation in Life Cycle Assessment" Journal of Industrial Ecology, Volume 4, number 3.
- Wiertz J, van Dijk&J.B. Latour (1992) "MOVE: vegetatie-module; de kans op voorkomen van 700 plantensoorten als functie van vocht, pH, nutriënten en zout." RIVM rapport nr 711901006. Bilthoven.

- Winebrake, J., He D. y Wang, M. (2000) "Fuel-Cycle Emissions for Conventional and Alternative Fuel Vehicles: An Assesment of Air Toxics" Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory.
- www.distances.com

SECCIÓN VIII. ANEJOS.

ANEJO I. ASIGNACIÓN MARGINAL EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES

En el proceso de extracción de aceite se producen otros productos con valor comercial, además del aceite.

Estos productos son los siguientes:

Producción de aceite de girasol	Producción de aceite de soja	Producción de aceite de colza	Producción de aceite de palma
Aceite: 1 kg	Aceite: 1 kg	Aceite: 1 kg	Aceite: 1 kg
Harina: 1,284 kg	Harina: 4,184 kg	Harina: 1,43 kg	Cáscara: 0,35 kg
	Lecitina de soja: 0,041 kg	Mucílago: 0,025 kg	Pipo o palmiste: 0,32 kg

La harina producida en este proceso de extracción de aceite tiene un uso como fuente de proteína para alimentación animal. El pipo de la palma o palmiste se utiliza para extraer aceite de palmiste produciendo, a su vez, como subproducto, harina de palmiste que también tiene uso como fuente de proteína en piensos para alimentación animal.

La proteína producida sustituye a proteína de soja que se considera como producto marginal en el mercado de piensos (Weidema, 1999), y es el único de los sistemas en el que el producto principal es la harina. La sustitución marginal de proteína por grano de cereal o DDGs también sería posible pero, dentro del horizonte temporal analizado, el precio de la semilla de soja se espera que se encuentre bastante por debajo del precio del grano de cereal. Por tanto la proteína obtenida en este proceso de extracción **evita** la producción de harina de soja.

Sin embargo, la producción de harina de soja tiene a su vez como subproducto aceite de soja que deberá ser sustituido por otro aceite en el mercado. El aceite marginal en el mercado de aceites se considera que es el aceite de colza ya que es el aceite de menor precio y cuya composición en ácidos grasos le hace sustituto del aceite de soja en la mayoría de las aplicaciones (Weidema, 1999).

El aceite de palmiste producido se considera asimismo que evita la producción de aceite de colza.

La cáscara de la palma se vende como fuente de energía a otras industrias extractoras, sustituyendo a otra fuente de energía térmica que consideraremos como gasoil.

La lecitina de soja tiene su uso en el mercado de los productos dietéticos. Para ello la soja utilizada debe de ser no transgénica con completa trazabilidad. Sin embargo, según fuentes consultadas de la industria extractiva de aceite de soja, cada vez es más difícil conseguir soja no transgénica con trazabilidad hasta origen, por lo que en el futuro no se plantean producir lecitina como sub-producto comercial. Es por eso que no consideraremos aquí la lecitina como un co-producto del sistema, y la cantidad producida se añade a la cantidad de harina.

Para realizar la extensión de los límites del sistema de la producción de harinas vamos a considerar conjuntamente la producción de todos los aceites en las cantidades necesarias para producir un kg de biodiésel.

Estas cantidades son las siguientes:

2,58 kg de semilla de soja	0,417 kg aceite soja
0,76 kg de semilla de colza	0,261 kg aceite colza
0,28 kg de semilla de girasol	0,104 kg aceite girasol
1,71 kg de frutos de palma	0,261 kg aceite palma 0,038 kg aceite de palmiste

Las producciones de harina originadas por la extracción de estas cantidades de aceite son las siguientes:

1,763 kg harina de soja
0,373 kg harina de colza
0,134 kg de harina de girasol
0,046 kg de harina de palmiste

Los contenidos de proteína de estas harinas son los siguientes: (Ref FEDNA)

- Harina de soja: 44%
- Harina de colza: 38%
- Harina de girasol: 32%
- Harina de palmiste: 15%

Por tanto la producción total de proteína por cada kg de biodiésel producido es de **0,97 kg proteína/kg biodiésel**.

Esta cantidad de proteína sustituye a la misma cantidad de proteína de soja evitando la producción de 2,83 kg de semilla de soja. Sin embargo, el aceite de soja que se produciría en este proceso evitado, **0,52 kg de aceite**, tiene que ser compensado por la misma cantidad de aceite de colza.

La producción de aceite de palmiste, 0,038 kg, compensa en parte esta necesidad de aceite adicional, por lo que se necesita una cantidad adicional de aceite de colza de 0,48 kg. Para ello es necesario que se procesen 1,24 kg de semilla de colza adicionales:

- 2,83 kg de semilla se soja
- + 1,24 kg de semilla de colza

La producción de esta cantidad adicional de colza lleva a su vez asociada la producción de proteína de colza, 0,262 kg. Esta proteína evita a su vez la producción de la misma cantidad de proteína de soja, y por tanto evita la producción de 0,77 kg de semilla de soja. Asimismo, el aceite de soja que se deja de producir, 0,14 kg aceite de soja, debe de ser compensado por una producción adicional de aceite de colza y por tanto de semilla de colza, 0,36 kg.

- 2,83 kg de semilla de soja – 0,77 kg de semilla de soja
- + 1,24 kg de semilla de colza + 0,36 kg de semilla de colza

Repetiendo el proceso se obtiene:

- 2,83 kg de semilla de soja – 0,77 kg de semilla de soja – 0,22 kg de semilla de soja
- + 1,24 kg de semilla de colza + 0,36 kg de semilla de colza + 0,11 kg de semilla de colza

Mediante iteraciones sucesivas llegamos a las siguientes cantidades:

- 3,91 kg de semilla de soja
+ 1,75 kg de semilla de colza.

Por tanto, el sistema expandido incluiría la producción adicional de 1,75 kg de semilla de colza y evitaría la producción de 3,91 kg de semilla de soja. Asimismo este sistema debería considerar el procesado de 0,083 kg de palmiste.

Estas cantidades traducidas a cantidad de aceite resultan en :

- 0,682 kg de aceite de soja
+ 0,682 kg de aceite de colza.

Por tanto, para la producción de 1 kg de biodiésel, se necesitarán las siguientes cantidades de los 4 tipos de aceite:

-0,265 aceite soja
0,943 aceite colza
0,104 aceite girasol
0,261 aceite palma

ISBN 84-8320-376-6



9 788483 203767

P.V.P.: 17,00 €
(I.V.A. incluido)



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE