



PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (2004-2007)

**Proyecto Singular Estratégico “Desarrollo,
demostración y evaluación de la producción de energía
en España a partir de la biomasa de cultivos
energéticos” (PSE On Cultivos)**

Expediente número:

SUBPROYECTO 9. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL DE LAS CADENAS ENERGÉTICAS DE LOS CULTIVOS

INFORME TÉCNICO ANUAL

Periodo: 1 de Enero a 31 de Diciembre de 2007

Madrid, Julio de 2008



ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. OBJETIVOS DEL SUBPROYECTO EN 2007	3
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	3
Subtarea 2.1. - Definición del objetivo y alcance del ACV	4
Subtarea 2.2.- Análisis de inventario	6
Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto.....	6
Subtarea 2.4.- Balance energético	7
Subtarea 2.5.- Análisis económico	7
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
Subtarea 2.1. - Definición del objetivo y alcance del ACV	8
Subtarea 2.2.- Análisis de inventario	8
Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto.....	14
Subtarea 2.4.- Balance energético	16
Subtarea 2.5.- Análisis económico	16
5.- CONCLUSIONES	17
Subtarea 2.2.- Análisis de inventario	17
Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto	17
Subtarea 2.4.- Balance energético de los sistemas de referencia	19
Subtarea 2.5.- Análisis económico	19
6.- GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PREVISTOS E IDENTIFICACIÓN DE DESVIACIONES	20

Subproyecto número: 9

Titulo: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL DE LAS
CADENAS ENERGÉTICAS DE LOS CULTIVOS

Entidad responsable del subproyecto: **CIEMAT – Análisis de Sistemas
Energéticos (ASE)**

Participantes: CIEMAT - Biomasa
Universidad de Zaragoza
Universidad Pontificia Comillas
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries
(IRTA)

Colaboradores:-

Informe técnico correspondiente al periodo: 1 de Enero a 31 de
Diciembre de 2007

1. RESUMEN

Tal y como se describió en el informe técnico anual correspondiente al año 2006, el subproyecto 9 analiza las cadenas energéticas de los cultivos desde dos perspectivas diferentes: **BIOMASA SÓLIDA** para producción de calor y electricidad, y **BIOCARBURANTES** para su uso en automoción. En los dos casos, el análisis se desarrolla sobre el ciclo de vida completo de los sistemas involucrados.

Las actividades realizadas durante 2007 corresponden a aquellas planteadas para la Tarea 2: **ACV de los sistemas de referencia**. Esta tarea se desarrolló a través de seis apartados:

Definición del objetivo y alcance del ACV

Análisis de inventario

Evaluación de impacto

Balance energético del ciclo de referencia

Análisis económico

*ACV preliminar de cultivos energéticos (*Brassica carinata*)*

Este documento síntesis, integra los principales aspectos de las tareas realizadas por los participantes en el subproyecto. En este sentido, la totalidad de la información desarrollada por cada participante se encuentra en los anexos.

BIOMASA SÓLIDA

El análisis de ciclo de vida de los combustibles de referencia busca definir de una manera clara, las cargas ambientales y a partir de ellas, identificar los impactos ambientales del ciclo de vida de los sistemas en estudio, para su posterior comparación con los cultivos energéticos (Anexo I).

En cuanto a los combustibles de referencia, los impactos ambientales identificados para el carbón servirán como referencia en el análisis de la producción de electricidad en centrales térmicas. Por otra parte, aquellos impactos ambientales relacionados con el gas natural, se utilizarán en la evaluación ambiental de la generación de calor en calderas del sector doméstico y comercial. Finalmente, se comparará el balance energético de estos dos tipos de combustibles, con el obtenido de los cultivos energéticos en estudio.

De acuerdo con el protocolo definido, relacionado con la evaluación de la pérdida de suelo por erosión, consumo de agua y eutrofización, el cultivo de referencia seleccionado ha sido el trigo. Como combustibles de referencia, se ha analizado el carbón utilizado en centrales térmicas y el gas natural para calefacción doméstica y comercial en España. Finalmente los sistemas de generación considerados, consisten en una central térmica de carbón y una caldera doméstica de combustible fósil.

Desde el punto de vista del cultivo, los resultados muestran la variabilidad existente en función del clima y las características edafológicas, pudiéndose concluir de

manera general las ubicaciones óptimas atendiendo a las categorías de impacto aquí estudiadas. Asimismo esta misma variabilidad muestra la importancia de disponer de datos lo más exactos posibles de las condiciones edafoclimáticas, topográficas y recursos acuíferos de las diferentes zonas donde se ubican los cultivos. Para la categoría de erosión, se han analizado 300 parcelas, la categoría de consumo de agua se ha establecido para las 17 provincias españolas en que el cultivo de trigo se considera más representativo, y en la categoría de eutrofización se representa una adaptación del método para una parcela de referencia (Anexo II).

Para los sistemas de referencia de la generación de energía, se han desarrollado los análisis de ciclo de vida (ACV) de dos procesos (Anexo III):

- Obtención de energía térmica para el sector doméstico (caldera de pequeña/mediana potencia)
- Producción de electricidad, mediante:
 - Central térmica de biomasa
 - Central térmica de co-combustión

Para ello, se han realizado en este periodo los ACV de referencia de las siguientes instalaciones:

- Central térmica de combustible fósil
- Caldera doméstica de combustible fósil

Como subtareas adicionales se ha desarrollado el análisis económicos de los combustibles de referencia y un ACV preliminar para un cultivo energético (*Brassica carinata*), adelantándose su ejecución, prevista para el año 2008.

BIOCARBURANTES

Se ha realizado el análisis del ciclo de vida de la producción de gasolina y diesel a partir del crudo petrolífero. Dicho estudio se empleará como caso base para la comparación posterior con los resultados de otros análisis de ciclo de vida realizados sobre distintas materias primas para la producción de combustibles para la automoción, estudios que están siendo desarrollados de forma paralela.

Se ha desarrollado una evaluación del estado actual de la importación del crudo en el territorio español. En base a la información recabada, se ha realizado el análisis del consumo energético y de las emisiones que se producen a lo largo de las distintas etapas de fabricación del diesel y de la gasolina a partir del crudo petrolífero. Las etapas principales consideradas han sido la extracción del crudo de los yacimientos, el transporte del mismo hasta las refinerías, el refinado y el transporte de los productos obtenidos hasta los puntos de distribución y su posterior empleo en los vehículos. La etapa del refinado ha sido evaluada sobre la refinería de La Rábida, propiedad de Cepsa, en base a la información suministrada. Los resultados concuerdan con los publicados por otros organismos de investigación y con publicaciones europeas. De forma paralela se está desarrollando el Análisis del Ciclo de Vida de la producción de biodiesel a partir de determinados cultivos agroenergéticos, resultados que posteriormente se compararán con el caso base de los productos petrolíferos (Anexo IV).

2. OBJETIVOS DEL SUBPROYECTO EN 2007

El objetivo principal del Subproyecto 9 para el año 2007 es la realización de la Tarea 2: “*Realización de los ACV de referencia*”. Cuantificando todas las entradas de materia y energía así como todas las emisiones de los sistemas e identificando los impactos sobre el medio ambiente. Este objetivo general corresponde a la integración de los siguientes objetivos específicos:

BIOMASA SÓLIDA

- Realizar un ACV de un cultivo de referencia sobre pérdida de suelo por erosión, consumo de agua y eutrofización adaptada a condiciones locales, de acuerdo al protocolo establecido
- Desarrollar un ACV de combustibles de referencia, usados mayoritariamente en la generación de electricidad y calor.
- Realizar ACV de referencia de una central térmica y una caldera doméstica de combustible fósil.

BIOCARBURANTES

- Evaluar el análisis de ciclo de vida de combustibles usados en España

3. MATERIAL Y MÉTODOS

La relación de tareas previstas por instituciones participantes en el subproyecto se describe en la tabla siguiente:

Distribución de tareas

Institución	Tareas
CIEMAT-ASE	ACV de los sistemas de referencia: <i>carbón y gas natural</i>
CIEMAT - Biomasa	Balance energético ciclo referencia
Universidad de Zaragoza	ACV generación electricidad y calor con carbón y gas natural
Universidad Pontificia Comillas	ACV producción de gasolina y diesel
IRTA	ACV cultivo de referencia (trigo) sobre pérdida de suelo por erosión, consumo de agua y eutrofización adaptada a condiciones locales.

Las subtareas de la tarea 2 se realizarán en cinco apartados principales:

Subtarea 2.1. - Definición del objetivo y alcance del ACV

Subtarea 2.2.- Análisis de inventario

Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto

Subtarea 2.4.- Balance energético del ciclo de referencia

Subtarea 2.5.- Análisis económico

Subtarea 2.1. - Definición del objetivo y alcance del ACV

BIOMASA SÓLIDA

La definición del objetivo y alcance, es la fase de un ACV donde se determina el tipo de información necesaria para agregar valor al procedimiento de toma de decisión, la exactitud necesaria de los resultados y como deben ser interpretados estos resultados para que sean significativos.

En el caso del cultivo de referencia, se han desarrollado los siguientes apartados:

- *Erosión*

Para el cálculo de la pérdida de suelo, y tal como se justificó en el informe anterior se ha propuesto la utilización de la ecuación de la **USLE**, Universal Soil Loss Equation. (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo).

En base a 300 parcelas aptas para el cultivo de cereal seleccionadas a partir de la base de datos de análisis de suelo de Trueba, y de los análisis de suelo de las parcelas de demostración se ha calculado el factor K de erosionabilidad del suelo. Asimismo se ha calculado el factor C a partir de fotografías digitales para evaluar el cambio de efectividad de la cubierta vegetal, gradual a lo largo del desarrollo de cultivo en función de los estadios de desarrollo y la lluvia. El factor LS a partir del SIG

- *Consumo de agua*

Para el registro del consumo de agua del cultivo se ha propuesto el cálculo de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) siguiendo el método de Penman-Monteith (FAO) por su universalidad. Para el cálculo de la ETc se ha seguido FAO nº 56.

- *Eutrofización*

Para el cálculo de las pérdidas de N y P, será preciso en primer lugar determinar el balance de minerales en el cultivo a partir de las aportaciones de fertilizantes, orgánicos y minerales, y las extracciones de éste.

La emisión causada por la lixiviación vendrá determinada por las características del suelo. Se establecerá por tanto un método de inventario que tenga en cuenta las especificidades del terreno mediante una adaptación de la metodología presentada en Bentrup. Para ello se utiliza la información de los análisis de suelo del apartado de erosión.

- *Definición de la unidad funcional*

Para el establecimiento de los indicadores locales en el cultivo de referencia se ha optado por elegir como unidad funcional la superficie. La opción de utilización de otras unidades funcionales como producción o energía producida puede conducir a errores de comparación por tratarse de producciones que obedecen a diferentes funciones y algo similar ocurrirá tomando como referencia las unidades energéticas. En cualquier caso y a medida que avance el proyecto y por tanto los cultivos analizados la conversión de superficie a otras unidades será fácilmente realizable.

- *Definición de los sistemas*

El cultivo de referencia considerado es el cultivo de trigo como cereal de invierno. Se ha considerado su cultivo en todo el territorio español, atendiendo a los diferentes microclimas, fechas de plantación y análisis de suelo. En el caso de la erosión se han agrupado los resultados por cuencas hidrográficas. Para las categorías de consumo de agua y eutrofización en la presentación de resultados de referencia se han seleccionado una muestra de suelo con textura franco-arenosa.

Los sistemas estudiados para los combustibles de referencia son:

- Producción y transporte de carbón hasta una central térmica y
- Producción, transporte y distribución de gas natural hasta el sector doméstico y comercial

Estos sistemas cumplen la función de servir de combustible en plantas de generación eléctrica y calderas para generación de vapor. La unidad funcional para este ACV se ha definido como la cantidad de combustible cuyo contenido energético es 1 MJ de energía.

En cuanto a los límites geográficos, el ACV realizado comprende etapas desarrolladas tanto a nivel nacional como internacional, por lo que el ámbito geográfico se puede ver expandido de acuerdo con el proceso estudiado. En el caso del carbón, el ciclo de vida incluye producción en estos dos ámbitos y en el caso del gas natural estas etapas son evaluadas en el ámbito internacional, puesto que las cantidades de producción nacional son mínimas. Como límite temporal se ha considerado el año 2005. No se han tenido en cuenta las etapas de carga y descarga del carbón en origen, ni construcción de maquinaria para ninguno de los sistemas considerados.

En el caso de los sistemas de referencia para la generación de electricidad y calor, se analizó por una parte una central térmica convencional de carbón. Así, los resultados de este ACV servirán para poder cuantificar la reducción real de impactos medioambientales que supone la producción de electricidad con cultivos energéticos (co-combustión o central térmica exclusiva de biomasa), ya que la producción de electricidad con carbón se verá reducida en la cantidad neta de electricidad producida a partir de dichos cultivos. El sistema se dividió en dos procesos principales: la operación de la planta y su infraestructura. Se seleccionó como unidad funcional 1TJ eléctrico

En el caso de la generación de calor, el equipo seleccionado fue una caldera de 140 kW de potencia (similar a las calderas de cultivos energéticos que se están desarrollando por parte de LASIAN en el Subproyecto 3), con un intercambiador gases/agua de hierro fundido (empleado por su modularidad y facilidad de instalación en el sector doméstico de esta potencia).

En cuanto al combustible, aunque en un principio se había considerado utilizar como referencia el gas natural y ampliarlo posteriormente al gasoil, se decidió hacerlo al contrario. La razón principal fue que al disponer LASIAN entre sus productos de calderas de gasoil, se podían obtener datos mucho más fiables y precisos para el análisis de inventario de este tipo de calderas. Con la experiencia obtenida en la realización de este ACV (procesos dominantes en cuanto a afecciones medioambientales, análisis de inventario del proceso de fabricación, etc.) será mucho más sencillo realizar el ACV de la caldera de gas natural (de hecho, ya se encuentra en una fase muy avanzada).

El sistema a analizar fue dividido en tres procesos: construcción, operación y desmantelamiento, considerando a su vez en el proceso de operación las etapas de producción, distribución y transporte de gasóleo al centro de consumo, así como las emisiones procedentes de la operación de la caldera. La unidad funcional considerada en este estudio fue 1 GJ de calor producido. No obstante, en las tablas y figuras referentes a este equipo se presentan los impactos asociados a toda la vida de la caldera (10 años), que supone una producción de 6.048 GJ de calor (considerando una operación de 4 meses durante las estaciones de otoño e invierno y 10 horas de trabajo por día)

Para el ACV preliminar de la *Brassica carinata*, la función del sistema es generar biomasa como fuente de energía renovable. La unidad funcional considerada es 1 kilogramo de biomasa producida (materia seca), lista para ser usada en la generación de energía. El estudio del sistema incluye las siguientes etapas: *preparación del terreno, trabajo de campo, fertilización, recolección de biomasa y transporte de biomasa*. También han sido consideradas otras etapas tales como *producción y transporte de combustible, fertilizantes y semillas*. Finalmente, el uso de los instrumentos agrícolas ha sido tenido en cuenta.

BIOCARBURANTES

En este caso, el análisis del ciclo de vida ha sido desarrollado en base al programa informático Greet y a las bases de datos contenidas en el mismo, junto con la información proporcionada de la refinería de La Rábida de Cepsa, y en base a la revisión bibliográfica de bases de datos de consumos energéticos y emisiones del continente europeo. El estudio se ha realizado conforme a la normativa UNE-EN-ISO 14040-45.

Subtarea 2.2.- Análisis de inventario

BIOMASA SÓLIDA

El análisis de inventario es un proceso de cuantificación de los flujos de energía y materiales que entran y salen de una actividad durante su ciclo de vida. Un análisis del inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema, aunque también puede incluir otros parámetros como: utilización de suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, entre otros aspectos.

Una estructura adecuada para el análisis de inventario se basa en las cuatro etapas que se mencionan a continuación :

- 1) diagrama de flujo,
- 2) plan de selección de datos
- 3) evaluación y
- 4) informe de resultados.

Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto

BIOMASA SÓLIDA

Las etapas en la evaluación del impacto de ciclo de vida, desarrolladas según indica la normativa referente a la evaluación de impacto, son:

- Selección y definición de categorías de impacto.
- Clasificación (asignación de los resultados del inventario a las categorías elegidas).
- Caracterización (modelado de impactos en sus categorías usando factores de conversión).

Se ha elegido el método orientado al problema. Como categorías de impacto evaluadas en condiciones globales fueron consideradas:

- Calentamiento global (GWP),
- Disminución de la Capa de Ozono (DCO)
- Formación de Ozono troposférico (FOT)
- Ecotoxicidad en agua (ECTA)
- Toxicidad humana en aire (THA) y
- Uso del suelo.

Así mismo, como categorías evaluadas en condiciones locales -aplicando factores de caracterización específicos del sitio-, fueron consideradas:

- Acidificación (ACD)
- Eutrofización (EUT)
- Consumo de recursos y
- Consumo de agua.

Subtarea 2.4.- Balance energético

BIOMASA SÓLIDA

El balance energético, determina la relación entre la energía obtenida y la necesaria para llevar a cabo un determinado proceso. El consumo de energía se expresa en términos de MJ.

Se ha calculado la energía fósil y la energía primaria total consumida en la producción y transporte de los combustibles hasta el sitio de uso. Se considera como energía consumida toda aquella energía asociada con procesos relativos a su ciclo de vida. Esto incluye las materias primas, la producción, el transporte, su utilización y su posterior final como residuo. El balance energético se ha calculado en términos del ratio de energía fósil (R.E.F)

$$R.E.F = \frac{\text{Energía del combustible}}{\text{Energía fósil consumida}}$$

Subtarea 2.5.- Análisis económico

BIOMASA SÓLIDA

Gas natural: Al existir en España dos modalidades de suministro de gas (mercado liberalizado y tarifa regulada), el coste del gas debería calcularse a través de la media ponderada entre ambas. Sin embargo, como sólo existe información pública relativa a la tarifa, y como el precio en ambos es similar, finalmente se trabajará con valor de la tarifa.

En este estudio se ha considerado como referencia la categoría de *consumidor doméstico-comercial*, que según la estructura de suministro existente pertenecen al grupo de Tarifa III. Al existir dentro de este grupo otras cuatro subcategorías, se ha optado por estimar el coste del gas a través de la media ponderada entre las distintas subcategorías.

Carbón: El coste del carbón se estima a través de la media ponderada entre el valor del carbón nacional y el carbón de importación¹, considerando el porcentaje de consumo de cada uno de ellos por parte de las centrales térmicas. En el caso del carbón nacional es necesario sumarle al precio de mercado el valor de las subvenciones recibidas, con el fin de estimar el coste real de obtención de este recurso.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Subtarea 2.1. - Definición del objetivo y alcance del ACV

BIOMASA SÓLIDA

- Realizar un ACV del trigo como cultivo de referencia (pérdida de suelo por erosión, consumo de agua y eutrofización adaptada a condiciones locales), de acuerdo al protocolo establecido
- Evaluar medioambientalmente las etapas de extracción, transporte y distribución de carbón hasta una central térmica y de gas natural hasta el sector doméstico y comercial.
- En el caso del *cultivo energético*, el objetivo es realizar una evaluación ambiental de los cultivos de *Brassica carinata*, tomando como base los datos suministrados por los agricultores de Soria y Navarra que participan en el subproyecto 2 del PSE.
- Realizar los ACV de referencia de una central térmica y una caldera doméstica de combustible fósil.

BIOCARBURANTES

- Evaluar el análisis de ciclo de vida de la producción de gasolina y diesel en España

Subtarea 2.2.- Análisis de inventario

BIOMASA SÓLIDA

La información relacionada con el cultivo de referencia estudiado, se describe en los siguientes apartados:

Erosión

En la tabla 1 (ANEXO 2) se resume el valor de C ya ajustado en función de la lluvia para las diferentes cuencas hidrográficas consideradas así como el porcentaje de parcelas clasificadas según el grado de erosión.

Consumo de agua

Se ha calculado la ETc del cultivo de trigo para 18 localizaciones que se han considerado representativas para toda España de este cultivo (ANEXO 2 tabla 2), este

¹ El dato utilizado ha sido el precio en posición CIF, que incluye el coste de los seguros y transporte hasta el puerto de recepción.

valor se ha relacionado con la lluvia efectiva. En la tabla 2 se presentan los resultados calculados para una pendiente menor del 3% y suelo franco-arenoso. El índice P'/Etc da idea del grado de aridez en que se desarrollan los cultivos. Se sugiere para la interpretación de este índice seguir los criterios de UN 94 para establecer las zonas con riesgo de desertificación en función de su impacto ambiental, esto nos daría niveles aceptables a partir de 0,65 y niveles no tolerables por debajo de 0,50.

Eutrofización

Nitrógeno

El ratio de lixiviación de nitratos dependerá de la cantidad de agua que percola a través del perfil del suelo hacia las aguas subterráneas y de la concentración potencial de nitratos que se pierden a través de esta fracción. La medida de la cantidad de agua que se pierde desde la zona radicular en un año se denomina frecuencia de intercambio del agua de drenaje (FI), y será función a su vez de la capacidad de campo en la zona radicular y de la relación entre precipitación y consumo de agua.

La reserva de agua en la zona radicular (W_{rz}) puede calcularse a partir de la tabla 3 (ver ANEXO) en función de la textura del suelo y la profundidad de las raíces. El potencial de de agua drenada (W_{lix}) se calculará mensualmente sustrayendo a la precipitación efectiva la evapotranspiración del cultivo. Los parámetros climáticos han sido previamente calculados en la sección anterior. La frecuencia de intercambio del agua de drenaje (FI), o ratio entre W_{lix} y W_{rz} , se multiplicará por la cantidad resultante del cálculo de balance de nitrógeno.

En el ANEXO 2 se ilustra un ejemplo de cálculo.

Fósforo

En un esfuerzo de establecer parámetros de referencia, se presenta el resultado de un cálculo para una suposición concreta en función de una parcela situada en Palencia (ver ANEXO 2). Los valores obtenidos de pérdidas NO_3 y P_2O_5 multiplicados por los correspondientes factores de caracterización en función del método seleccionado nos darán el potencial de eutrofización.

La información sobre consumo de carbón y gas natural, así como al cultivo de *Brassica carinata* (datos preliminares, entregados por el subproyecto 2), se resume en las tablas presentadas a continuación

Tipo de carbón utilizado en centrales térmicas de España

Tipo de carbón	kt	ktep	GWh	MJ
Hulla y antracita nacional	8,55E+03	4,18E+03	5,13E+04	2,60E+11
Lignito negro	3,22E+03	1,01E+03	1,38E+04	5,40E+10
Lignito pardo	7,59E+03	1,44E+03	1,71E+04	6,35E+10
Hulla importada	1,89E+04	9,24E+03	1,07E+05	7,09E+11
Total	3,83E+04	1,59E+04	1,90E+05	1,09E+12

Procedencia y tipo de Gas natural para el sector doméstico y comercial

Origen y tipo de GN	Porcentaje	GWh	Nm3	T
Argelia GN	27,30	1,20E+04	8,93E+08	7,53E+05
Argelia GNL	15,70	6,88E+03	5,13E+08	4,33E+05
Nigeria GNL	16,00	7,01E+03	5,23E+08	4,41E+05
Países GolfoGNL	19,50	8,55E+03	6,38E+08	5,38E+05
Egipto GNL	10,00	4,38E+03	3,27E+08	2,76E+05
Noruega GN	6,00	2,63E+03	1,96E+08	1,65E+05
Libia GNL	3,00	1,31E+03	9,81E+07	8,27E+04
T&T GNL	2,50	1,10E+03	8,18E+07	6,89E+04
TOTAL	100	4,38E+04	3,27E+09	2,76E+06

Como resultado del inventario del ciclo de vida se presentan los principales flujos de materia y energía para los combustibles de referencia.

Inventario de ciclo de vida. Datos por MJ transportado

Entradas	Gas		Unidades
	Carbón	Natural	
<u>Recursos naturales</u>			
Carbón	4,32E-02	2,84E-06	
Gas natural	5,70E-05	6,75E-03	Nm3
Agua	7,16E-03	1,69E-03	m3
Petróleo	9,30E-05	1,99E-05	kg
Uso del suelo	1,61E-04	3,53E-08	m2a
<u>E. renovables</u>			
Biomasa	1,26E-04	3,79E-07	MJ
Eólica	2,15E-04	8,87E-08	MJ
Hidroeléctrica	1,03E-03	3,98E-05	MJ
Solar (sin especificar)	2,47E-06	1,20E-09	MJ
<u>Salidas</u>			
<u>Emisiones</u>			
CO ₂	1,10E-03	1,19E-03	kg
CO	2,92E-06	1,18E-06	kg
CH ₄	7,67E-05	1,11E-05	kg
NO _x	1,23E-05	5,07E-06	kg
NMVOG	1,79E-06	2,09E-06	kg
Particulates, > 10 um	3,77E-05	3,40E-10	kg
SO _x	4,42E-06	1,85E-08	kg

Para los sistemas de generación (de referencia), la central térmica de combustible fósil, representa la media ponderada de las centrales de carbón del territorio nacional (2000-2006). Este proceso se ha modelado a través de la herramienta SimaPro, y se han corregido varios módulos con los datos que se presentan en la tabla siguiente.

Datos considerados para la realización del ACV

Rendimiento (%)	34
Potencia (MW)	375
Funcionamiento (h/año)	6.500
Carbón	
Carbono (%)	43
Hidrógeno (%)	2,2
Cenizas (%)	29
Humedad (%)	18
PCS (bh) (kJ/kg)	16.890
Emisiones (kg/TJe)	
CO ₂	88.194
NO _x	297,5
Partículas	38
SO ₂	1.191

Así mismo, para la caldera doméstica de combustible fósil, el inventario de materiales requerido para la etapa de construcción de la caldera se presenta en la tabla siguiente.

Materiales requeridos para la construcción de la caldera analizada	
Materiales	Entradas (kg)
Hierro fundido	395
Acero al carbono	182
Aluminio	26
PEHD Polietileno de alta densidad	70

Los datos reportados para la *Brassica carinata*, se resumen en la siguiente tabla

Respecto al análisis de inventario preliminar de la *Brassica carinata*, a continuación se describen las principales características de los escenarios evaluados. Como ya se mencionó anteriormente, estos escenarios corresponde a cultivos desarrollados al interior del proyecto, específicamente en el subproyecto 2.

Los datos que han sido reportados y que se utilizaron para el ACV de la *Brassica carinata*, se presentan a continuación:

Principales características del cultivo de *Brassica carinata*.

	Unit	ESC 1	ESC 2	ESC 3
Productividad	Kg/ha	7520	4584	4812
Humedad de la biomasa	%	9	9	9
Aplicación de semillas	Kg/ha	6,7	7	7,9
Fertilizantes de Nitrógeno	Kg/ha	553	556	193
Fertilizantes NPK	Kg/ha	-	-	303,5
Consumo de combustible	l/ha	111	87	98
Área de estudio		Navarra	Navarra	Soria
Periodo de campaña		05/06	06/07	06/07

A continuación se describen los resultados del análisis de inventario de la *Brassica carinata* obtenidos del ACV preliminar.

Inventario de ciclo de vida del cultivo de *Brassica carinata*. Datos por MJ de biomasa

Entradas	<i>Brassica carinata</i>	Unidades
<u>Recursos naturales</u>		
Carbón	3,67E-04	
Gas natural	3,77E-03	Nm3
Agua	1,00E-02	m3
Petróleo	2,72E-03	kg
Uso del suelo	7,67E-02	m2a
<u>E. renovables</u>		
Biomasa	8,27E-01	MJ
Eólica	9,82E-05	MJ
Hidroeléctrica	1,15E-03	MJ
Solar (sin especificar)	1,42E-06	MJ
<u>Salidas</u>		
<u>Emisiones</u>		
CO ₂	1,31E-02	kg
CO	7,47E-06	kg
CH ₄	2,45E-05	kg
NO _x	1,05E-04	kg
NMVOC	1,19E-05	kg
Particulates, > 10 um	2,18E-06	kg
SO _x	2,11E-05	kg

BIOCARBURANTES

Los principales consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero, evaluadas como emisiones de dióxido de carbono equivalente, se muestran en las siguientes figuras:

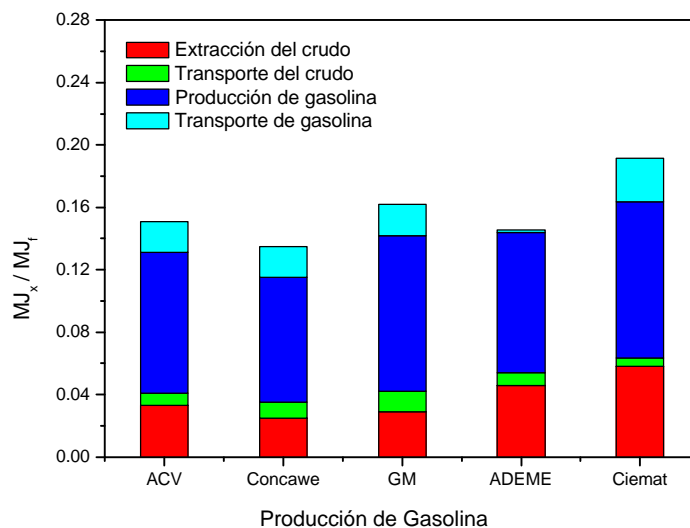


Figura 1.- Consumos energéticos de las diferentes etapas consideradas en el análisis del ciclo de vida de la producción de gasolina realizados por distintas entidades.

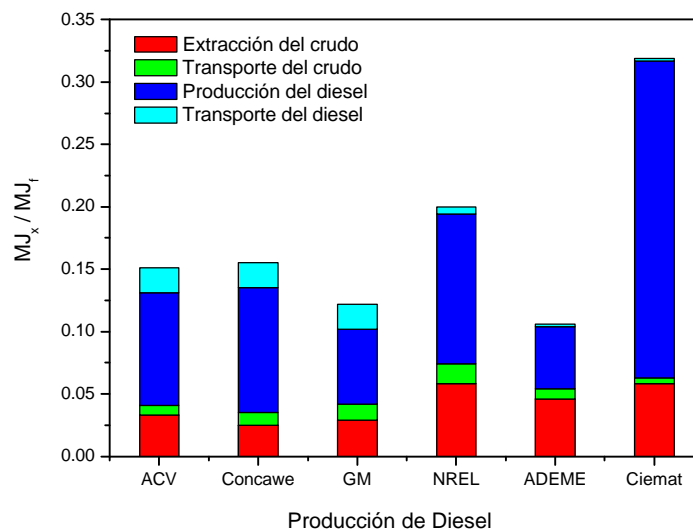


Figura 2.- Consumos energéticos de las diferentes etapas consideradas en el análisis del ciclo de vida de la producción de diesel realizados por distintas entidades.

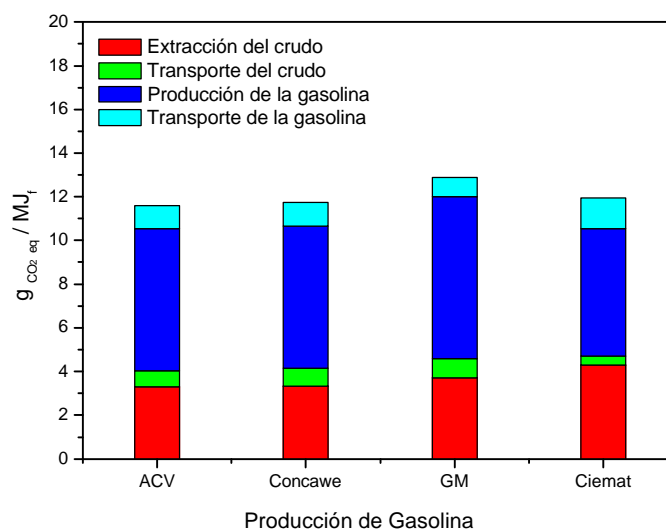


Figura 3.- Emisiones de CO₂ eq de las diferentes etapas consideradas en el análisis del ciclo de vida de la producción de gasolina realizados por distintas entidades.

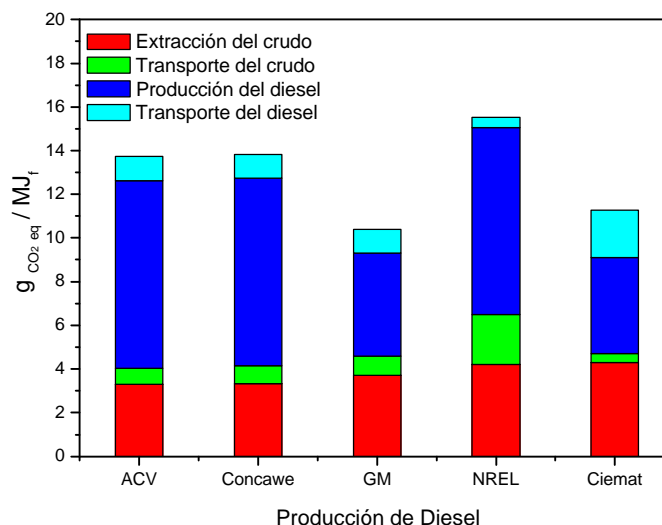


Figura 4.- Emisiones de CO₂ eq de las diferentes etapas consideradas en el análisis del ciclo de vida de la producción de diesel realizados por distintas entidades.

Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto

BIOMASA SÓLIDA

La evaluación del impacto del ciclo de vida se presenta relacionada con dos aspectos fundamentales:

- Uso de recursos
- Emisiones de sustancias que contribuyen a generar impactos ambientales

Se ha elegido el método orientado al problema con las siguientes categorías de impacto y métodos de evaluación:

Categorías de impacto y métodos de evaluación considerados en el estudio

Tipo de impacto	Categoría de impacto	Método y fuente
Recursos	Consumo de agua	Kg de agua consumida
Recursos	Uso del suelo	M2a
Recursos	Recursos (otros)	Kg. Edip 2003
Contaminación	Calentamiento global	Lindfors et al (1995) en Cowell (1998)
	Destrucción de ozono	Lindfors et al (1995) en Cowell y Clift (1998)
	Acidificación	Edip 2003
	Formación de ozono troposférico	Heijungs et al (1992) en Cowell (1998)
	Eutrofización	Kg. Edip 2003
	Ecotoxicidad	Jolliet en Audsley et al (1997)
	Toxicidad humana	Jolliet en Audsley et al (1997)

Fuente: Elaboración propia

La evaluación del impacto ha reportado resultados significativos para cada uno de los sistemas estudiados. A continuación se presentan los resultados de la evaluación de impactos de los combustibles de referencia.

Resultados de la evaluación de impacto de los combustibles de referencia

Análisis de Ciclo de Vida de la Gasolina y del Diesel

	Carbón	Gas Natural	Unidades
Calentamiento global (GWP)	2,74E-03	8,80E-03	kg CO2 eq
Disminución de la Capa de Ozono (ODP)	5,58E-11	2,48E-09	kg CFC11 eq
Formación de Ozono troposférico (FOT)	2,70E-06	1,01E-05	kg ethene eq
Ecotoxicidad en agua (ECTA)	1,43E-01	5,52E-02	m3
Toxicidad humana en aire (THA)	4,57E+02	4,24E+02	m3
Acidificación (ACD)	1,57E-05	1,41E-05	kg SO2 eq
Eutrofización (EUT)	2,18E-05	2,40E-05	kg NO3 eq
Consumo de recursos	4,51E-07	1,48E-06	kg
Consumo de agua	7,16E-03	1,69E-03	m3
Uso del suelo.	1,61E-04	2,22E+01	m2a

En cuanto a las cargas ambientales de los sistemas de generación de energía, a continuación se presentan los datos normalizados para las categorías de impacto estudiadas (evaluación en unidades de impacto según el método CML 2 Baseline 2000).

Impacto ambiental de la central térmica de carbón (unidades de impacto por TJe)

Categoría de impacto	Operación	Infraestructura	Total
Abiotic depletion	5,31E-11	5,24E-12	5,83E-11
Acidification	1,44E-08	1,72E-12	1,44E-08
Eutrophication	8,72E-10	6,91E-13	8,73E-10
Global warming (GWP100)	6,27E-09	2,56E-12	6,27E-09
Ozone layer depletion (ODP)	1,63E-12	1,51E-14	1,65E-12
Human toxicity	8,63E-10	2,45E-12	8,66E-10
Fresh water aquatic ecotox.	6,49E-10	1,93E-11	6,69E-10
Marine aquatic ecotoxicity	3,74E-08	7,49E-11	3,75E-08
Terrestrial ecotoxicity	8E-09	4,92E-12	8E-09
Photochemical oxidation	1,77E-09	4,37E-13	1,77E-09

Resultados del análisis del impacto ambiental después de aplicar criterios de normalización (unidades de impacto a lo largo de la vida de la caldera -6.048 GJ-)

Categoría de impacto	Construcción	Operación	Desmantelamiento	Total
Abiotic depletion	5,25E-10	4,66E-07	5,87E-13	4,67E-07
Global warming (GWP100)	1,47E-10	1,43E-07	6,52E-12	1,43E-07
Ozone layer depletion	5,25E-10	1,91E-08	1,39E-14	1,96E-08
Human toxicity	9,74E-11	1,78E-08	2,56E-14	1,79E-08
Fresh water aquatic ecotox.	4,15E-11	4E-8	4,55E-14	4,00E-08
Marine aquatic ecotoxicity	1,21E-09	6,61E-07	7,11E-13	6,62E-07
Terrestrial ecotoxicity	2,19E-11	2,09E-08	4,83E-13	2,09E-08
Photochemical oxidation	5,87E-11	3,67E-08	7,85E-13	3,68E-08
Acidification	1,9E-10	1,88E-07	4,94E-13	1,88E-07
Eutrophication	3,72E-12	8,17E-09	2,61E-13	8,17E-09

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de impactos de la *Brassica carinata* evaluada como cultivo energético.

Evaluación de impactos ambientales de la *Brassica carinata*

	ESC 1	ESC 2	ESC 3	Unidades
Calentamiento global (GWP)	4,26E-02	6,79E-02	5,73E-02	kg CO2 eq
Acidificación (ACD)	4,10E-03	6,51E-03	9,79E-03	kg SO2 eq
Eutrofización (EUT)	3,47E-05	5,48E-05	7,68E-05	kg NO3 eq
Ecotoxicidad en agua (ECTA)	4,37E-01	6,60E-01	5,30E-01	m3
Toxicidad humana en aire (THA)	2,06E+02	2,96E+02	1,87E+02	m3

Subtarea 2.4.- Balance energético

BIOMASA SÓLIDA

El balance energético realizado sobre los dos sistemas estudiados se presenta en las tablas siguientes. Los resultados se presentan en términos del consumo y ratio de energía fósil, y de la energía primaria total.

Balance energético del ciclo de vida de los combustibles de referencia

	Carbón	Gas natural	Unidades
Energía Fósil	0,114	0,24	MJ/ MJ de energía transportada
Ratio de energía Fósil	8,76	4,17	MJ energía transportada /MJ energía fósil
Energía primaria total	0,115	0,24	MJ /MJ de energía transportada

Respecto al ACV del cultivo energético, vale la pena recordar que los resultados tienen carácter preliminar, puesto que aún no se cuenta con información suficiente de los cultivos en estudio.

Balance energético del ciclo de vida del cultivo de *Brassica carinata*

	ESC1	ESC2	ESC3	Unidades
Energía Fósil	0,28	0,43	0,39	MJ/ MJ de energía transportada
Ratio de energía Fósil	3,57	2,34	2,59	MJ energía transportada /MJ energía fósil
Energía primaria total	1,11	1,27	1,23	MJ /MJ de energía transportada

Subtarea 2.5.- Análisis económico

BIOMASA SÓLIDA

a. Gas natural

Tarifas del gas (sin IVA) en 2005 y 2006 para los consumidores doméstico-comerciales

Grupo tarifario	2005 ⁽¹⁾		2006 ⁽²⁾	
	Consumo [GWh]	Tarifa [€MJ]	Consumo [GWh]	Tarifa [€MJ]
3.1.	5.883	0,0124	5.065	0,0141
3.2.	20.646	0,0101	17.242	0,0115
3.3.	765	0,0083	732	0,0097
3.4.	6.745	0,0065	6.968	0,0077
Media ponderada		0,0097		0,0126

Fuente: (1) CNE (2006); (2) CNE (2006)

b. Carbón

Coste del carbón nacional e importado en 2005

	Coste del carbón nacional [€/MJ]	Coste del carbón importado [€/MJ]
Subvención	0,0016 ⁽¹⁾	
Precio sin IVA del carbón	0,0019 ⁽¹⁾	0,167
Transporte puesto-central	0,0005	0,053
Pérdidas y mermas	0,0000	0,002
Tarifa T3	0,0000	0,002
Descarga	0,0001	0,007
Otros gastos	0,0000	0,005
Gastos financieros	0,0000	0,005
TOTAL	0,0042	0,241
Media ponderada	0,0034	

Fuente: (1) MICYT (2007); el resto: Carbuion (2006)

5.- CONCLUSIONES

BIOMASA SÓLIDA

Subtarea 2.2.- Análisis de inventario

El inventario de ciclo de vida para los dos sistemas en estudio, permite obtener información relevante acerca de las cargas ambientales presentes en cada una de las etapas involucradas y su contribución a las categorías de impacto.

Se ha aplicado la metodología propuesta para el cálculo de la erosión, el consumo de agua y la eutrofización para el caso del trigo como cultivo de referencia. Los resultados muestran la variabilidad existente en función del clima y las características edafológicas y la topografía, pudiéndose concluir de manera general, las ubicaciones óptimas atendiendo a las categorías de impacto aquí estudiadas. Asimismo esta misma variabilidad muestra la importancia de disponer de datos lo más exactos posibles de las condiciones edafoclimáticas, de relieve y recursos acuíferos de las diferentes zonas donde se ubican los cultivos para establecer los resultados más concretos posibles.

Subtarea 2.3.- Evaluación de impacto

El impacto ambiental debido al ciclo de vida del carbón para centrales térmicas en España está dominado por la etapa del *carbón importado*. La producción y transporte de carbón nacional y el transporte a central, presentan un comportamiento similar, no sólo en cuanto a magnitud de los impactos, sino también respecto a las categorías de impacto que se ven afectadas en mayor medida por tales etapas.

Como aspecto significativo del ACV del gas natural para el sector doméstico y comercial en España, vale la pena resaltar la etapa de *producción en origen*, que presenta una importante contribución en la mayor parte de las categorías de impacto analizadas (GWP, ODP, FOT, ACD, EUT, ECTA, THA, consumo de recursos y uso del suelo). Excepto en tres de dichas categorías (GWP, ETAC, y consumo de agua) presenta la mayor contribución.

Respecto al cultivo energético, la evaluación de impactos (a pesar de ser resultados preliminares), confirma la fase de *fertilización* como la de una mayor contribución al total.

Los valores más altos para acidificación y eutrofización están claramente vinculados con el proceso de volatilización de NH₃. La comparación entre los diferentes tipos de fertilizantes, muestra a los fertilizantes tipo NPK como los principales responsables de estos impactos.

Las labores agrícolas muestran una baja contribución en la mayor parte de las categorías impacto. Sin embargo, para toxicidad humana, esta tendencia es contraria, presentando una mayor relevancia, debido principalmente a las emisiones del uso de maquinaria.

La promoción de la Brassica carinata como cultivo energético, debería estar acompañada por la selección de variedades con bajas exigencias de fertilizantes inorgánicos, dado que su alta exigencia de energía presenta una contribución muy importante en todas las categorías de impacto

Se han realizado los ACV de una central térmica y de una caldera doméstica, en ambos casos alimentados con combustible fósil. El objetivo es que sirvan de referencia y comparación a los ACV que se realizaran a estas mismas instalaciones, pero alimentadas con cultivos energéticos.

Es interesante remarcar que en el caso de las calderas, para que esta comparación sea lo más útil posible, los equipos alimentados con los dos tipos de combustible, fósil y biomasa, deben ser similares (en cuanto a tamaño, uso al que van dirigido, etc.) y por ello, conforme avance el proyecto es posible que el ACV de referencia tenga que ser modificado y adaptado a las nuevas condiciones de las calderas de cultivos.

Por otra parte, en el caso de las centrales térmicas de carbón se han usado datos medios de los últimos años que, con la entrada en vigor de la normativa sobre emisiones de grandes instalaciones de combustión, no van a ser representativos de la situación española de los próximos años, ya que la nueva legislación hará que las plantas más contaminantes dejen de funcionar (disminuyendo las emisiones medias, aumentando el rendimiento, etc.). Este hecho obligará, sin ninguna duda, a la modificación de algunos datos de partida importantes para la realización de los ACV de referencia. Las principales conclusiones que pueden extraerse para la fase de generación de energía son las siguientes:

- Las categorías de impacto más afectadas por la infraestructura son la ecotoxicidad de los medios acuáticos de agua dulce y agua salada. En el caso de la operación se genera el mayor impacto sobre las categorías de ecotoxicidad de las aguas marinas.
- El impacto asociado a la operación de la planta es mucho mayor (99,84 %) que el correspondiente a la infraestructura (0,16 %), hasta el punto de que la infraestructura puede considerarse poco significativa en cuanto a la contribución de impacto del ACV de la planta de carbón.
- El principal impacto medioambiental es el correspondiente al proceso de operación. En este proceso, la principal contribución fue obtenida en las categorías calentamiento global, disminución de la capa de ozono y oxidación fotoquímica.
- Al comparar el impacto en los procesos de construcción y desmantelamiento, se observa una influencia despreciable de éste último. La principal carga ambiental del proceso de construcción corresponde a las categorías toxicidad en humanos y calentamiento global.

BIOCARBURANTES

Se ha realizado el análisis del ciclo de vida de la producción de gasolina y diesel a partir del crudo petrolífero. Los resultados obtenidos en cuanto a consumo energético y emisiones han sido validados con los siguientes estudios y publicaciones europeas y estadounidenses: Concawe, 2007; ADEME, 2002; US DOE, 1998; GM WTW, 2002; CIEMAT, 2005; Argonne, 2008 (Anexo 4).

Las diferencias encontradas con respecto a otros estudios pueden ser debidas a la refinería estudiada, al tipo y porcentajes de transporte considerado, tanto del crudo como de los combustibles, a las diferente materias primas empleadas como combustible en las distintas etapas contempladas y al empleo de bases de datos distintas. Los resultados alcanzados están siendo empleados como referencia para evaluar el ciclo de vida de combustibles obtenidos a partir de cultivos agroenergéticos.

Subtarea 2.4.- Balance energético de los sistemas de referencia

Los valores obtenidos para el consumo de energía Fósil y para el ratio de energía fósil (REF), permiten obtener una aproximación a los máximos valores energéticos que se puede conseguir con el carbón y el gas natural que se utiliza en centrales térmicas y en calderas, respectivamente. Sin embargo, este REF debe ser evaluado teniendo en cuenta las condiciones sobre las cuales ha sido calculado, y bajo la suposición de los contenidos energéticos establecidos para los diferentes tipos de carbones que conforman la materia prima.

Respecto al consumo de energía fósil, es necesario diferenciar los dos sistemas estudiados. Por una parte, en el caso del carbón, las contribuciones tanto del carbón importado como la producción local presentan valores similares. Por otra parte en el caso del gas natural, la etapa de producción en origen presenta la contribución más importante al total de energía fósil consumida, con cerca del 95% del total. El gas natural licuado y la etapa de gasoducto internacional, siguen en orden de contribución, pero con valores menos significativos.

Se ha obtenido el balance de energía tanto fósil como primaria total, para el cultivo estudiado.

Subtarea 2.5.- Análisis económico

El análisis económico realizado hasta ahora no permite arrojar aún conclusiones en relación con el objetivo perseguido, es decir, establecer una comparación entre el coste de producir energía a partir de fuentes convencionales y fuentes renovables como la biomasa. Sin embargo, con los resultados obtenidos es posible comparar el coste de la materia prima de dos fuentes convencionales: el carbón y el gas natural. Como era de esperar, los resultados ponen de manifiesto que el carbón es una fuente de energía barata pero al ser una fuente muy contaminante, para determinar el verdadero coste de producción de electricidad a partir de este recurso sería necesario tener en cuenta el coste de las externalidades generadas por dicha contaminación, que padece la población y que no asumen los productores.

6.- GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PREVISTOS E IDENTIFICACIÓN DE DESVIACIONES

BIOMASA SÓLIDA

Respecto a los objetivos previstos en el subproyecto 9 para el año 2007, se puede decir que el grado de cumplimiento ha sido total. Se han desarrollado los ACV's de los sistemas de referencia y se han calculado las cargas ambientales con las cuales serán comparadas aquellas reportadas en los ACV's de los cultivos energéticos.

La metodología presentada ha resultado de total aplicación para el cultivo de referencia; sin embargo la complejidad de los diferentes factores que intervienen, precipitación, evapotranspiración, fechas de siembra, producciones, textura de suelo, etc. aconsejaran siempre un estudio detallado de los casos particulares.

Se han cumplido los objetivos previstos para la Universidad de Zaragoza en este periodo (sustituyendo, como ya se ha comentado, el ACV de la caldera de gas natural por la de gasoil) y se ha avanzado en la recopilación de información, lo que supone un adelanto respecto al calendario de actividades.

Acerca de la recopilación de la información de los cultivos energéticos estudiados, se ha de destacar la *Brassica carinata* y la *Brassica napus*, para la cuales se tiene información de las campañas 05/06 y 06/07 casi en la totalidad de las parcelas cultivadas en Soria y Navarra. En el caso del Chopo, se tiene información de la campaña 05/06 y 06/07, aunque en mucho menor tamaño de superficie que la cultivada inicialmente. Finalmente en el caso del sorgo, aún no se dispone de datos que permitan iniciar su análisis, puesto que los intentos de cultivo en Extremadura y Toledo no han prosperado por múltiples y diversas razones.

Referente a la evaluación de los cultivos, se ha avanzado satisfactoriamente, puesto que aunque no era una actividad para este periodo, se ha desarrollado un análisis de ciclo de vida preliminar del cultivo de la *Brassica carinata*, obteniéndose información valiosa no sólo desde el punto de vista de la validación de las metodologías aplicadas para la evaluación ambiental y económica, sino también, desde el punto de vista de las cargas ambientales a comparar una vez los cultivos estén en marcha.

BIOCARBURANTES

El análisis del ciclo de vida de la gasolina y del diesel como combustibles para la automoción ha sido llevado a cabo conforme a los objetivos previstos para el 2007, sin experimentar ningún tipo de desviación.