



 20
Aniversari Jaume I

Herramientas para el análisis de la sostenibilidad de sistemas energéticos
Aula Magna – ESTCE – Universitat Jaume I – Castellón
11-12 Julio 2011

Análisis de ciclo de vida de cultivos energéticos y de energía solar térmica

Israel Herrera Orozco
CIEMAT – Departamento de Energía
Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos

CURSOS D'ESTIU
UNIVERSITAT JAUME I
JULIOL 2011

 **20**
UNIVERSITAT JAUME I ANIVERSARI 1991-2011

 GOBIERNO DE ESPAÑA
 MINISTERIO DE ENERGÍA E INNOVACIÓN
 **CIEMAT**
Centro de Investigaciones Energéticas, Petrolíferas y Tecnológicas



 20
Aniversari Jaume I

ACV DE CULTIVOS ENERGÉTICOS Y DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

CONTENIDO GENERAL

- 1) Introducción
- 2) Análisis de ciclo de vida de cultivos energéticos
- 3) Análisis de ciclo de vida de energía solar térmica
- 4) Conclusiones generales



Introducción

Porqué es importante evaluar ambientalmente los sistemas energéticos?

Los sistemas energéticos, constituyen uno de los componentes básicos tanto para la articulación física del territorio, como para el desenvolvimiento de la actividad económica. Por otra parte, el alto nivel de vida alcanzado por la sociedad moderna, requiere del consumo de **grandes cantidades de energía para** mantenerse.

Los sistemas energéticos son un elemento clave para medir la sostenibilidad del sistema productivo de un territorio. A modo de ejemplo, la tasa de intensidad energética (**TIE**) es el indicador que mide la cantidad de energía necesaria para la generación de riqueza, medida en unidades de Producto Interior Bruto. En España (2008), la TIE fue 175,8 toneladas equivalentes de petróleo (tep) por cada millón de euros de PIB



ACV DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

Biomasa para producción calor y electricidad



Contenido

- Información general
- Objetivo y Alcance
- Análisis de Inventario
- Evaluación de Impacto
- Resultados
- Conclusiones

Información general



Biomasa

Se entiende como biomasa cualquier tipo de materia orgánica generada *recientemente*, que haya tenido su origen como consecuencia del proceso de fotosíntesis.

Las moléculas orgánicas de la biomasa contienen energía acumulada en sus enlaces, lo cual es liberada en los procesos de combustión. La energía química que se almacena en las plantas se conoce como bioenergía.

El uso de biomasa como fuente de energía se conoce casi desde el momento en el que el hombre descubrió el fuego.

Actualmente la biomasa cubre aproximadamente el 10% del consumo de energía primaria global. El 60% es consumido en países no pertenecientes a la OECD. El 38% es consumido con tecnologías modernas.

Información general

Aplicaciones de la Biomasa



La combustión de la biomasa puede utilizarse para generar calor, electricidad y vapor.

El calor puede ser el producto principal, en usos tales como calefacción de hogares y cocción de alimentos, o puede ser un subproducto de la producción eléctrica en centrales de cogeneración.



El vapor generado por la biomasa puede utilizarse para accionar turbinas de vapor para la producción eléctrica, utilizarse como calor de proceso en una fábrica o planta de procesamiento, o utilizarse para mantener un flujo de agua caliente.

Información general



Cultivos energéticos

Son de plantas de rápido crecimiento destinadas únicamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles.

Representan una alternativa energética reciente, centrada principalmente en el estudio y la investigación del aumento de su rentabilidad energética y económica.

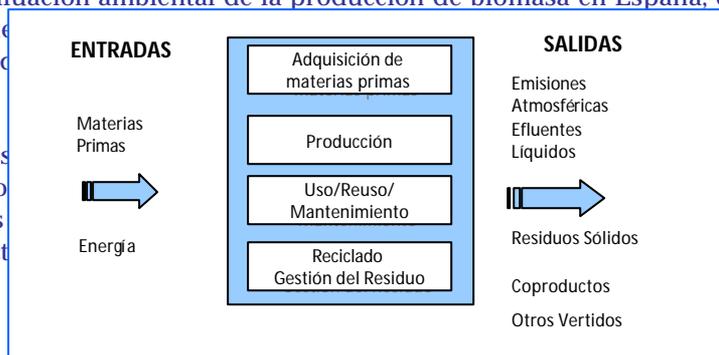
La generación de energía a partir de biomasa proveniente de C_E, no contribuye al efecto invernadero ya que el dióxido de carbono liberado por la biomasa en la combustión, (directa o indirectamente después de que se produzca un biocombustible) es igual al absorbido por el material de la biomasa durante su crecimiento.

Información general

Evaluación ambiental

La evaluación ambiental de la producción de biomasa en España, es un paso necesario para el uso de la biomasa.

Este es el primer paso de la evaluación ambiental de la producción de biomasa.



Definición de objetivo & Alcance

Objetivo

Evaluar el impacto del ciclo de vida de los cultivos de *Brassicas* en varios escenarios de siembra, como fuente de calor y/o electricidad.

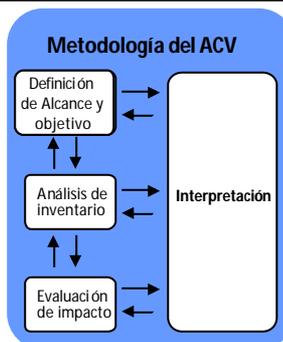
Alcance

Sistemas estudiados

Los sistemas estudiados cumplen la función de producir biomasa como combustible renovable para la producción de calor y electricidad.

Definición de la unidad funcional

La unidad funcional considerada para este ACV se ha definido como 1 **kg de biomasa producida** (en materia seca), preparado para ser usado en la producción de energía (calor y electricidad).



Definición de objetivo & Alcance

Alcance

Límites

Límites geográficos.

Etapas desarrolladas tanto a nivel nacional como internacional, por lo que el ámbito geográfico se puede ver expandido de acuerdo con el proceso estudiado.

Límites temporales.

Los cultivos analizados se corresponden con las cosechas obtenidas en las campañas entre 2003-2005. Como límite temporal se ha considerado el periodo comprendido entre 2000-2010, con el objeto de recoger las tecnologías usadas en esta fase agrícola (maquinaria, insumos).

Etapas excluidas del análisis

- Fabricación de los camiones para el transporte
- Operaciones de descarga de las pacas de biomasa, una vez que llegan a destino





Definición de objetivo & Alcance

Alcance

Datos necesarios (requisitos de calidad???)

El grueso de los datos agrícolas, proviene de parcelas de demostración en las dos provincias en estudio (Navarra y Soria) para las campañas comprendidas entre 2005 y 2008. Soriactiva ha suministrado los datos correspondientes a los agricultores de Soria y Acciona los de Navarra.

La información relacionada con las etapas agrícolas incluidas, en este estudio, corresponde a los datos ofrecidos por los propios agricultores y en algunos casos a información bibliográfica obtenida de literatura relevante y bases de datos especializadas.



Definición de objetivo & Alcance

Alcance

Metodología de la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (clasificación y caracterización)

Categorías de impacto involucradas

Tipo de impacto	Categoría de impacto	Método y fuente
Recursos	Energía	Cumulative Energy Demand. Frischknecht, R, et al (2003)
Contaminación	Calentamiento global	Lindfors et al (1995) en Cowell (1998)
	Destrucción de Ozono	Lindfors et al (1995) en Cowell (1998)
	Formación de Ozono	Heijungs et al (1997)
	Acidificación	Hauschild M et al (2005)
	Eutrofización	Hauschild M et al (2005)

Análisis del inventario del ciclo de vida

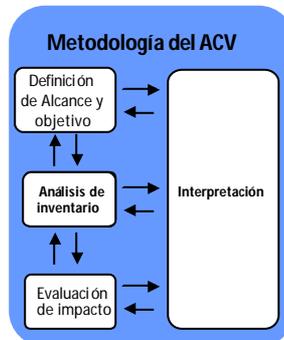
Metodología seguida

La metodología desarrollada para el análisis de los sistemas agrícolas en España, está fundamentalmente basada en los estudios desarrollados por Nemecek et Kagi, 2007 y Audsley 1997 y Williams & Audsley 2006.

Los inventarios de las actividades agrícolas se desarrollan a través de la creación de escenarios que simulan las condiciones de cultivo en España

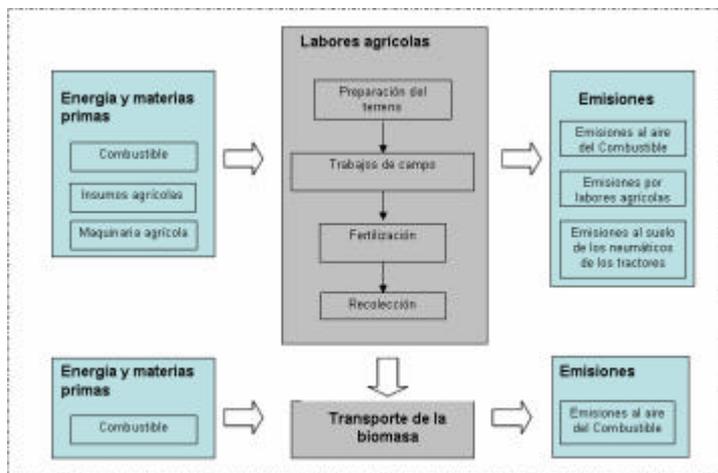
Etapas desarrolladas

- ✓Diagrama de flujo,
- ✓Plan de selección de datos
- ✓Cálculo e
- ✓Informe de resultados.



Análisis del inventario del ciclo de vida

Diagrama del proceso de producción y transporte la biomasa

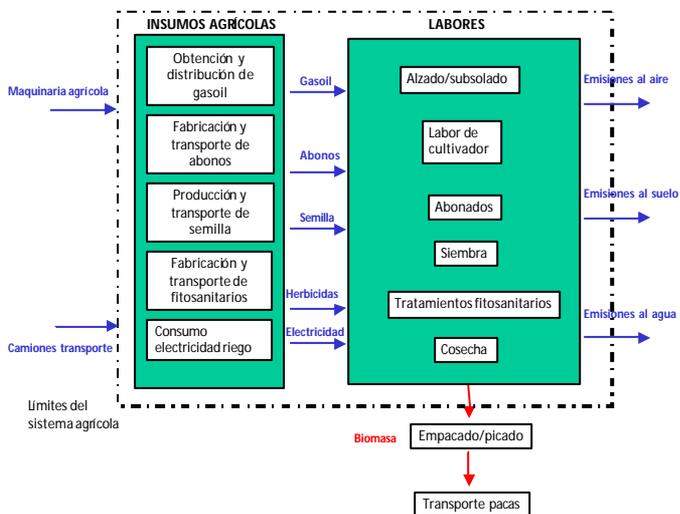


ACV CULTIVOS ENERGÉTICOS



Análisis del inventario del ciclo de vida

Inventario de emisiones en las actividades de los sistemas agrícolas



ACV CULTIVOS ENERGÉTICOS



Análisis del inventario del ciclo de vida

Descripción de labores y maquinaria

NBc06		NBc07		NBc08		Eng08		SBc07		SBc08	
PR	Vertedera	AL	Vertedera	PR	Vertedera	AB	Remolque	AL	Vertedera	PR	Semi-chisel
PR	Rastra	PR	Grada rotativa	PR	Grada rotativa	PR	Arado Vertedera	PR	Semi-chisel	AB	Abonadora
SIM	sembradora	SIM	Sembradora	AB	Abonadora	PR	Rastrón	PR	Cultivador	PR	Cultivador
RU	rulo	RU	Rulo	SIM	Sembradora	AB	Abonadora	AB	Abonadora	SIM	Sembradora
AB	Abonadora	AB	Abonadora	RU	Rulo	HE	Pulverizador	AB	Abonadora	RU	Rulo
AB	Abonadora	AB	Abonadora	AB	Abonadora	SIM	Sembradora	SIM	Sembradora	AB	Abonadora
SIG	Segadora	SIG	Segadora	AB	Abonadora	HE	Pulverizador	RU	Rulo	SIG	Segadora
EM+CA	Empacadora	HI	Rastrillos	SIG	Segadora	AB	Abonadora	SIG	Segadora	HI	Rastrillo
		EM+CA	Empacadora	EM+CA	Empacadora	AB	Abonadora	HI	Rastrillo	EM	Empacadora
						SIG	Segadora	EM	Empacadora	CA	Equipo de carga
						EM+CA	Empacadora	CA	Equipo de carga		



ACV CULTIVOS ENERGÉTICOS



Análisis del inventario del ciclo de vida

Creación de escenarios (Información de partida)

Escenarios	NBc 06	NBc 07	NBc 08	NBng 08	SBc 07	SBc 08
Provincia	Navarra	Navarra	Navarra	Navarra	Soria	Soria
Campaña agrícola	05/06	06/07	07/08	07/08	06/07	07/08
Superficie recolectada (ha)	12.3	12.34	10.37	6.67	1.44	2.18
Productividad (kg/ha)	7521	5639	5714	6714	4812	2378
Semilla aplicada (kg/ha)	6.7	7	6.6	2.91	7.9	7.5
Fertilización nitrogenada (kg/ha)	553	556	560	530	193	260
Fertilización NPK (kg/ha)					303	330
Fertilización P (kg/ha)			130	155		
Fertilización K (kg/ha)				222		
Fertilización orgánica (kg/ha)				1500		
Herbicidas Trifuralina (l/ha)				2.5		
Herbicidas Galant (l/ha)				0.6		
Consumo combustible (l/ha)	130.41	94.82	83.12	106.38	102.35	73.15



ACV CULTIVOS ENERGÉTICOS



Análisis del inventario del ciclo de vida

Etapas consideradas:

Labores del terreno.- Incluye las tareas agrícolas de alzado y preparación del terreno realizadas con vertedera, rastra, arado-vertedera, semi-chisel ó cultivador.

Fertilización.- Se incluyen la producción de los fertilizantes y las labores de abonado realizado siempre con abonadora, excepto el abonado orgánico dónde se ha utilizado un remolque.

Labores de cultivo.- Se han computado las labores de siembra, rulado y la producción de la semilla.

Herbicidas.- Contempla la producción de los herbicidas utilizados y su aplicación en los cultivos con pulverizadores.

Recolección.- Se incluyen las labores de siega e hilerado.

Empacado.- Se incluyen las labores de empacado y carga

Transporte en fase agrícola.- Se incluye el transporte local de los insumos: semillas, fertilizantes y herbicidas en una distancia de 30 km. (transporte de la maquinaria agrícola desde la explotación agrícola hasta la parcela de cultivo)

Transporte biomasa.- Transporte de la biomasa desde la zona de cultivo hasta la planta de transformación ó zona de almacenamiento intermedio. La distancia media se ha **calculado** en 50 km



Análisis del inventario del ciclo de vida

Procesos considerados

- ✓Producción de semilla.
- ✓Producción de la maquinaria agrícola.
- ✓Tractor
- ✓Aperos: (Maquinaria general y maquinaria para labores pesadas).
- ✓Producción de fertilizantes

Fuente de los datos

Labores agrícolas : agricultores, bases de datos y otras fuentes

Bases de datos

Europeas

ECOINVENT,
IDEMAT,
ETH-ESU

Americanas

USA Input Output
FLANKLIN

Otras fuentes:

- ✓Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino
- ✓Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético. IDAE
- ✓Asociación de fertilizantes
- ✓Asociación Española Agricultura de Conservación
- ✓Instituto Técnico y de Gestión Agrícola. ITGA



Análisis del inventario del ciclo de vida

Vinculación con la unidad funcional

Emisiones por uso maquinaria I



Uso del tractor:

$$CT[kg/UF] = \text{Peso tractor}[kg] * \frac{\text{Tiempo Operación}[h/UF]}{\text{Vidautil}[h]}$$

Uso de los aperos

$$CA[kg/UF] = \text{Peso apero}[kg] * \frac{\text{Tiempo Operación}[h/UF]}{\text{Vidautil}[h]}$$

Análisis del inventario del ciclo de vida



Emissiones por uso maquinaria II

Uso del combustible del tractor: $E[g/ha]=CB[kgcombustible/ha]*FE[g/kgcombustible]$

Sustancia	Fórmula	Factor de emisión (g/Kg. de comb)	Contribución
Dióxido de carbono	CO ₂	3,12E+03	Calentamiento global
Dióxido de sulfuro	SO ₂	1,01 E+00	Acidificación/ Oxidación fotoquímica
Metano	CH ₄	1,29E-01	Calentamiento global
Benzeno	C ₆ H ₆	7,30E-03	Toxicidad humana
Partículas	PM _{2,5}	Ver fórmula	Toxicidad humana

$$FE_{PM_{2,5}} = 7,25 \left[\frac{g}{Kg_{combustible}} \right] - 3,62 \left[\frac{g_{PM}}{(Kg_{combustible} \cdot kW)} \right] * potencia^{0,1} [kW]$$

Análisis del inventario del ciclo de vida

Emissiones por uso maquinaria III

Abrasión neumáticos (emisiones al suelo)

$$EMP = \frac{VU_{maquinaria}[h]}{VU_{neumático}[h]} * \text{Peso} \left[\frac{kg \text{ de neumáticos}}{kg \text{ de maquinaria}} \right] * \text{caucho en los neumáticos} \left[\frac{kg \text{ de caucho}}{kg \text{ de neumático}} \right] * \text{metal pesado} \left[\frac{g \text{ de metal}}{kg \text{ de caucho}} \right] * CM \left[\frac{kg}{ha} \right]$$

Donde:

EMP son las emisiones de metales pesados,

VU es la vida útil, y

CM es la cantidad de maquinaria agrícola requerida

Factores de metales pesados en caucho

Metal pesado	Contenido de metales pesados en el caucho (g/kg de caucho)
Zinc (Zn)	16
Plomo (Pb)	2.6
Cadmio (Cd)	0.6



Análisis del inventario del ciclo de vida

Emisiones por aplicación de fertilizantes

Debidas a la interacción entre los compuestos químicos y el propio suelo.

(Fertilización nitrogenada y emisiones debidas a su aplicación)

Balance del nitrógeno (N) en el suelo

Se han considerado y calculado las entradas al sistema agrícola mediante el N **aplicado en la fertilización**; la **deposición atmosférica** media en España, (calculada a partir de datos bibliográficos) y el N **contenido en la semilla** aplicada

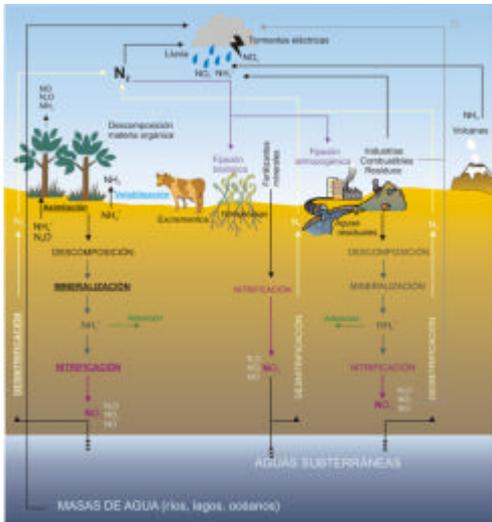
La utilización de fertilizantes produce diferentes tipos de emisiones :

- Emisiones al aire de NH₃.
- Emisiones al aire de NO_x.
- **Emisiones al aire de óxido nitroso (N₂O).**
- Emisiones al agua de NO₃



Análisis del inventario del ciclo de vida

Las emisiones de N₂O desde el suelo agrícola



Nitrificación: Proceso de **oxidación** de compuestos nitrogenados. En este proceso se producen varios óxidos de N (NO, N₂O, NO₂-):



Condiciones: tolera pH alto y baja t^ª, tolera alta [NH₄+]



Condiciones: No tolera pH < 5 o > 9
No tolera t < 5°C o > 40°C, no tolera alta [NH₄+]

Desnitrificación: proceso de **reducción** de nitratos hasta nitrógeno gas N₂ que ocurre en etapas seriales, catalizadas por sistemas enzimáticos diferentes, apareciendo como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso:
NO₃- ? NO₂- ? NO ? N₂O ? N₂

Condiciones: encharcamiento, t^ª > 25°C, baja acidez y alto contenido en MO)

Evaluación del impacto del ciclo de vida

La fase de evaluación de impacto tiene como misión evaluar la magnitud de los impactos ambientales a partir de las cargas identificadas en el inventario de los procesos implicados a lo largo todo el ciclo

Realizada siguiendo la normativa ISO 14040/44 (2006) siguiendo la metodología EDP. Etapas de **clasificación y caracterización**.

EDP

Environmental Product Declarations. Impact assessment methodology. Swedish Environmental Management Council (SEMC). 2007.



Evaluación del impacto del ciclo de vida

Categorías de impacto analizadas

Tipo de impacto	Categoría de impacto	Indicador de impacto
Mid point	Calentamiento global	kg CO ₂ eq
	Agotamiento capa de ozono	kg CFC-11 eq
	Formación de ozono troposférico	kg C ₂ H ₄ eq
	Acidificación	kg SO ₂ e q
	Eutrofización	kg PO ₄ eq

Potenciales de calentamiento global

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
100 años	1	21	298

Fuente: IPCC 2007

Balance energético

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

* Demanda Acumulada de Energía (CED)

Método CED

Este método de agregación de datos acumula las entradas energéticas de los diferentes Ciclos de Vida implicados en el sistema definido, incluye los consumos energéticos relacionados con el sistema primario (cultivo y transporte) y con el sistema secundario (producción de insumos).

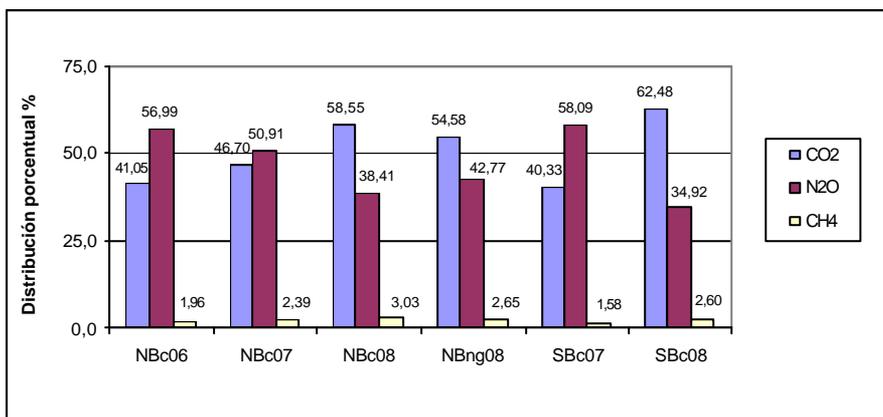
Calentamiento global

Contribución por etapa

Labores del terreno	de	Incluye las tareas agrícolas de alzado y preparación del terreno con vertedera, rastra, arado-vertedera, semi-chisel ó cultivador.
Fertilización		Se incluyen la producción de los fertilizantes y las labores de abonado realizado siempre con abonadora, excepto el abonado orgánico dónde se ha utilizado un remolque.
Labores cultivo	de	Se han computado las labores de siembra, rulado y la producción de la semilla.
Herbicidas		Contempla la producción de los herbicidas utilizados y su aplicación en los cultivos realizado siempre con pulverizadores.
Recolección		Se incluyen las labores de siega e hilerado.
Empacado		Se incluyen las labores de empacado y cargas tanto si se realizan conjuntamente como por separado.
Transporte agrícola	fase	Se incluye el transporte local de los insumos: semillas, fertilizantes y herbicidas (30 km de media). También se ha incluido el transporte de la maquinaria agrícola desde la explotación agrícola hasta la parcela de cultivo.
Transporte biomasa		Transporte de la biomasa desde la zona de cultivo hasta la planta de transformación ó zona de almacenamiento intermedio. La distancia media se ha calculado en 50 km

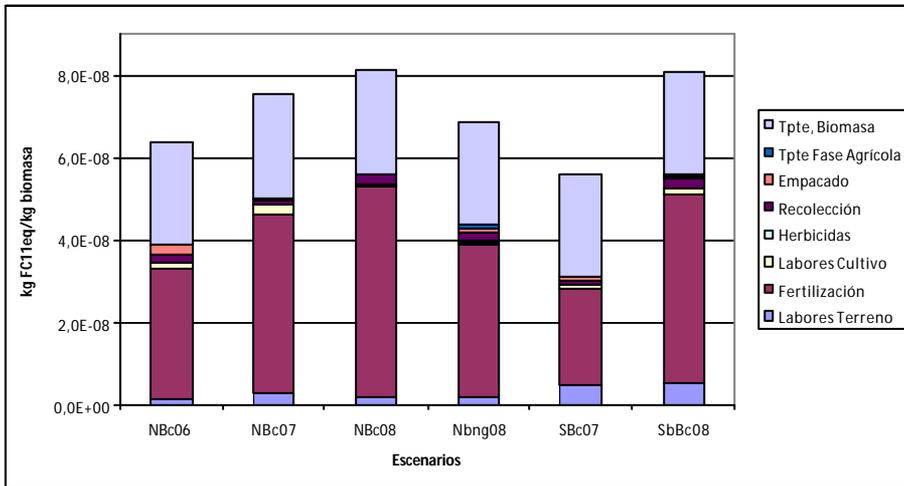
Calentamiento global

Contribución por emisión



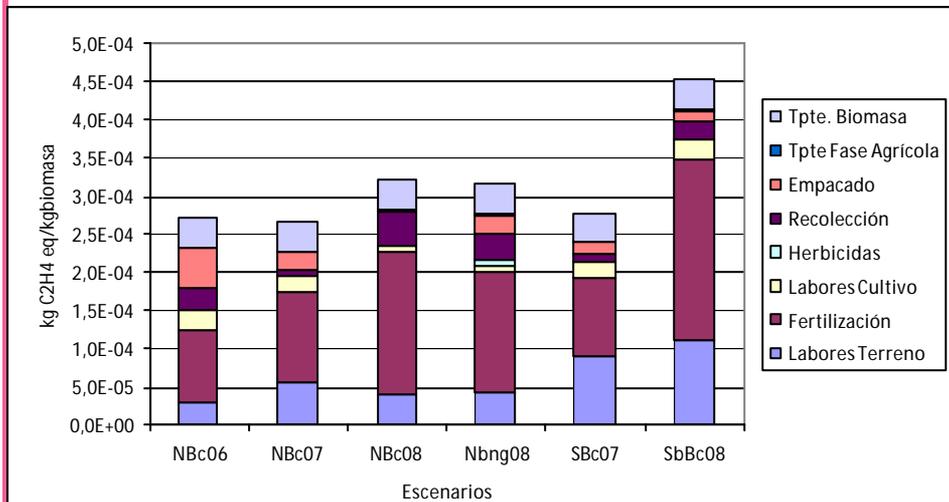
Resultados del ACV

Agotamiento capa ozono



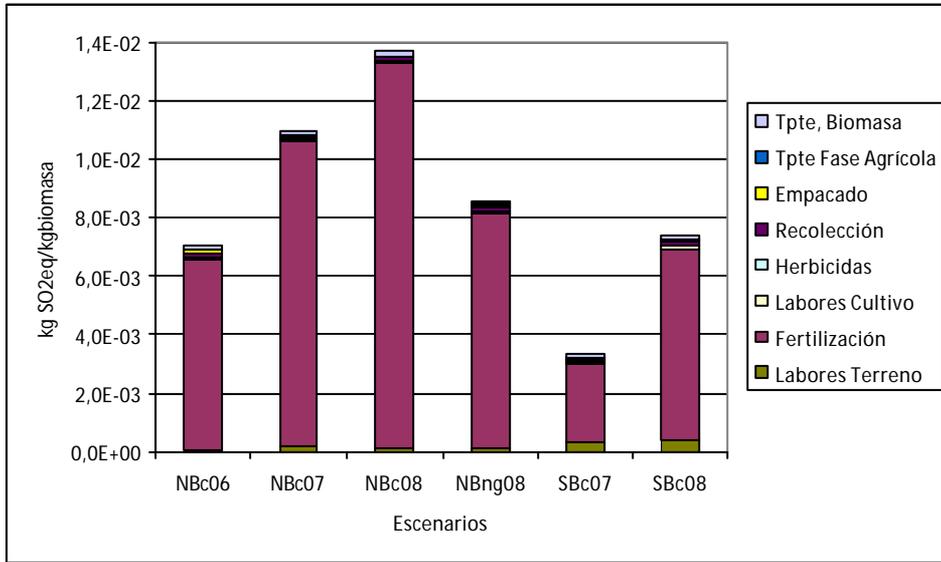
Resultados del ACV

Formación ozono troposférico



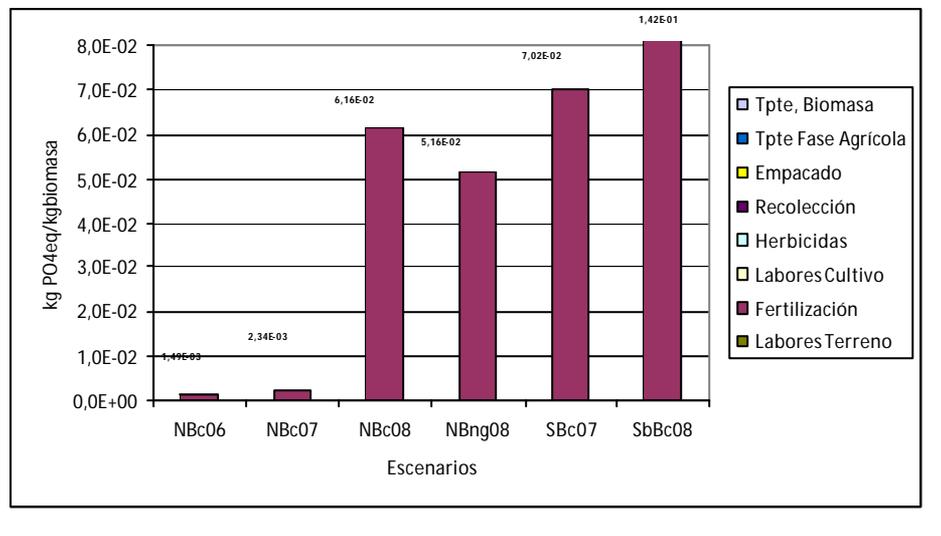
Resultados del ACV

Acidificación



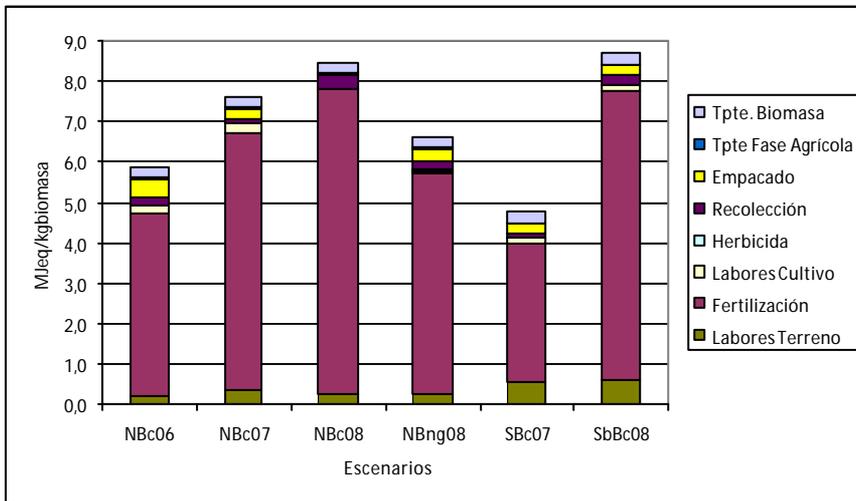
Resultados del ACV

Eutrofización



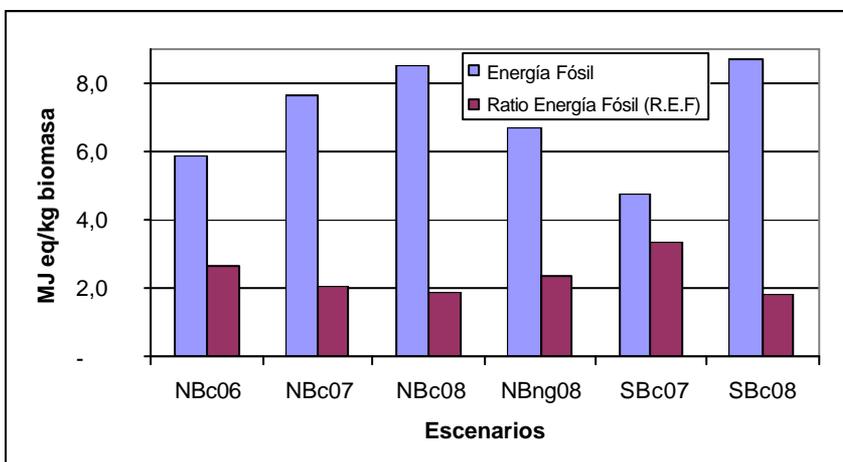
Resultados del ACV

Balance energético



Resultados del ACV

Ratio de energía





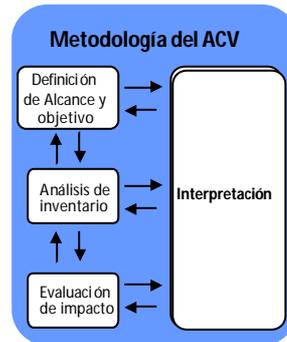
Resultados obtenidos

Potencial de Calentamiento Global

Las emisiones de CO₂eq derivadas de la producción de B. carinata y B. napus provienen fundamentalmente de la etapa de **fertilización**, variando su contribución entre el 82.5% de SBc08 al 86.5% de NBc08.

Las siguientes fases en importancia para este impacto son las labores de **preparación del terreno** y el **transporte de la biomasa**. Las labores de preparación del terreno implican remover la tierra a cierta profundidad y son intensivas en consumo de combustible. El resto de las etapas tienen una contribución mucho menor (desde el 0.12% para la labor de empacado en NBc08 al 5.6% de NBc06).

Las emisiones de CO₂ y N₂O son las que más influyen en esta categoría. Las emisiones de CH₄ son, con diferencia, mucho más bajas, no superando en



Agotamiento capa de ozono estratosférico

Las fases agrícolas que contribuyen en mayor medida al agotamiento de la capa de ozono son la fertilización y el transporte de la biomasa. Dentro de la etapa de fertilización es la producción del fertilizante la fase que genera el mayor impacto.

Las etapas que en mayor medida contribuyen a esta categoría de impacto son la fertilización en primer lugar, seguido de las labores de preparación del terreno, del transporte de la biomasa y de los procesos de recolección. El resto de las etapas tienen una contribución netamente menor.

Formación de ozono troposférico

Las emisiones de hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles juegan un papel esencial en la formación del ozono troposférico. Por eso, la producción de fertilizantes al ser un proceso con un consumo intensivo de electricidad, contribuye de una manera clara en este impacto.

También contribuyen aquellas etapas con elevado consumo de combustible: maquinaria agrícola y camiones de transporte.



Acidificación

La fertilización es la etapa dominante en la categoría de acidificación de la fase agrícola. La fluctuación varía entre el 80.71% de contribución en el escenario SBc07 y el 96.73% en NBc08. Las emisiones procedentes de la **aplicación del fertilizante** contribuyen en mayor medida que la propia producción de los fertilizantes

Eutrofización

La eutrofización producida en la fase agrícola, procede fundamentalmente de la fase de fertilización (entre el 91.76% de NBc06 hasta el 99.86% en SBc08). Son las emisiones producidas por la aplicación del fertilizante las dominantes. Estas emisiones se dividen a su vez en tres tipos según su origen: las debidas a la **lixiviación**, a **escorrentía** y a **erosión por aguas superficiales**. Son las producidas por la erosión debido a las aguas superficiales las que contribuyen mayoritariamente.



Balance energético

La etapa que da lugar a la mayor contribución en el consumo de energía fósil es la fertilización (entre el 72 y el 90%), y el escenario con el mayor valor para dicha categoría es el SBc08.

Sin embargo, el escenario que presenta un mejor ratio de energía fósil es del desarrollado en Soria durante la campaña 06/07 (SBc07) con un valor 3.3 MJ biomasa /MJfósil



Conclusiones

Análisis de inventario

En un contexto nacional, el cultivo de *Brassica carinata* y *Brassica napus*, como fuente de biomasa para electricidad y calor, podría jugar un papel relevante en la generación de energía, debido a dicha reducción. Para esto es necesario evaluar dicha reducción, teniendo en cuenta el informe de la Comisión Europea sobre los requisitos de sostenibilidad en el uso de fuentes de biomasa sólida para la generación de electricidad, calor y frío.

Evaluación de impacto

El comportamiento positivo frente al cambio climático de la producción de biomasa queda claramente recogido en este Análisis de Ciclo de Vida

Es necesario verificar la captura de CO₂ mediante el proceso de fotosíntesis, puesto que este CO₂ fijado por las plantas, es el que se considera neutral en los procesos de combustión posteriores cuando es liberado al quemarse en una planta de producción de electricidad o en una caldera de biomasa para producir calor.



Conclusiones

- La fertilización es la que etapa que más contribuye a los impactos.
- Los contribución de la fertilización a la acidificación y la eutrofización se relaciona con el proceso de volatilización de NH₃, cuyos valores máximos se presentan con los fertilizantes tipo NPK.
- Las emisiones producidas por la aplicación del fertilizante las dominantes, de ahí la importancia de minimizar los procesos erosivos para reducir la contribución de la fase agrícola de los cultivos energéticos a este impacto.
- Las labores agrícolas muestran una baja contribución a la mayoría de las categorías de impacto analizadas.
- Del estudio se deduce la necesidad de seleccionar variedades con bajas exigencias de fertilizantes minerales y mejor adaptadas a las heladas, analizar los momentos óptimos para la aplicación de los fertilizantes y disponer de datos españoles para las emisiones de N₂O.



ACV ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Central eléctrica **termosolar de receptor central o torre** y central eléctrica termosolar **de receptores cilindroparabólicos**

Contenido

- ✓ Información general
- ✓ Objetivo y Alcance
- ✓ Análisis de Inventario
- ✓ Evaluación de Impacto
- ✓ Resultados
- ✓ Análisis de Sensibilidad
- ✓ Conclusiones



ACV ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Información general

Electricidad solar térmica de concentración

- Sistemas que producen electricidad mediante el uso de espejos que concentran los rayos del sol para calentar un fluido a temperaturas que oscilan entre los 400° y los 1000 °C. El calor generado se utiliza después para generar electricidad de forma convencional con una turbina de vapor, de gas o con un motor Stirling.
- El calor solar captado durante el día puede **almacenarse** en un medio líquido u sólido (sales fundidas, materiales cerámicos, hormigón, ...) y éste se puede extraer durante la noche aumentando las horas de operación de las centrales.
- También pueden operarse de forma **híbrida** con otros combustibles de forma que ofrecen una potencia firme y energía disponible a demanda, siendo **aptas para cargas punta y base**.
- Es una tecnología **viable** comercialmente y capaz de generar electricidad a **gran escala**.



Definición de objetivo & Alcance

Objetivos

Análisis de los impactos ambientales de una central eléctrica **termosolar de receptor central o torre de 17MW** y de una central eléctrica termosolar **de receptores cilindroparabólicos de 50 MW**.

Análisis de los impactos ambientales derivados del cumplimiento del PER 2005-2010 para la energía solar termoeléctrica. 500 MW.

Identificación de las oportunidades de mejora de los sistemas estudiados encaminadas a reducir los impactos ambientales identificados.



Definición de objetivo y alcance.

Unidad Funcional

✓La unidad funcional es una medida del comportamiento de las salidas 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 elegida para el estudio es **1 kWhel** producido en las plantas termosolares.



Definición de objetivo y alcance.

Principales hipótesis I

Peso del acero del generador de vapor: datos tomados de la literatura (Viebahn, 2006) (17.767 kg/kWe para la planta de receptor central y 9.144 kg/kWe para la planta de colectores cilindro-parabólicos)

Peso del acero de la turbina de vapor en la planta de colectores cilindro-parabólicos: datos obtenidos de la bibliografía (Viebahn, 2006).

Peso de las sales fundidas del sistema de almacenamiento en la planta de receptor central. El dato facilitado para la realización del estudio sólo especificaba el valor económico de las sales fundidas. Considerando un coste de las sales de 0.18 €/kg de sal (Pacheco, J), se ha estimado el peso de las mismas.



Definición de objetivo y alcance.

Principales hipótesis II

Peso de los tanques de acero que forman el sistema de almacenamiento en ambas plantas. Se ha considerado que las sales se almacenan en dos tanques de 38.2 m de diámetro, y en base a esto se ha estimado el peso del acero necesario para dichos tanques.

Caldera de gas natural: no se facilitaron datos sobre las calderas de gas natural. El proceso de fabricación de estos componentes se ha excluido en ambas plantas.

Datos de consumos energéticos y emisiones del proceso de **fabricación de la sal** $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por lo que se ha considerado que son similares a los del proceso de producción de la sal KNO_3 .



Análisis de inventario del ciclo de vida.

Fuente de datos

Empresas privadas interesadas en invertir en el campo de producción de electricidad en plantas termosolares.

Datos de bibliografía

Bases de datos de análisis de ciclo de vida.

ETH-ESU 96 (Frischknecht et al. 1996).

ECOINVENT v2.1 (<http://www.ecoinvent.ch>)

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



Análisis de inventario del ciclo de vida.

Descripción de las plantas

Tecnología	Planta de receptor central	Planta colectores cilindro/parabólicos
Capacidad instalada	17 MW	50 MW
Radiación normal directa	1997 kWh/m ²	2016 kWh/m ²
Nº de helióstatos o receptores	2750	624
Apertura	264825 m ²	510120 m ²
Horas de utilización anual	6230	3220
Factor de utilización	71.1%	43.6%
Vida útil de la planta	25 años	25 años
Energía generada anual	104014 MWh	187581 MWh
Energía generada en la vida útil	2600GWh	4690 GWh

ACV ENERGÍA SOLAR TÉRMICA



Análisis de inventario del ciclo de vida.

Descripción de las plantas

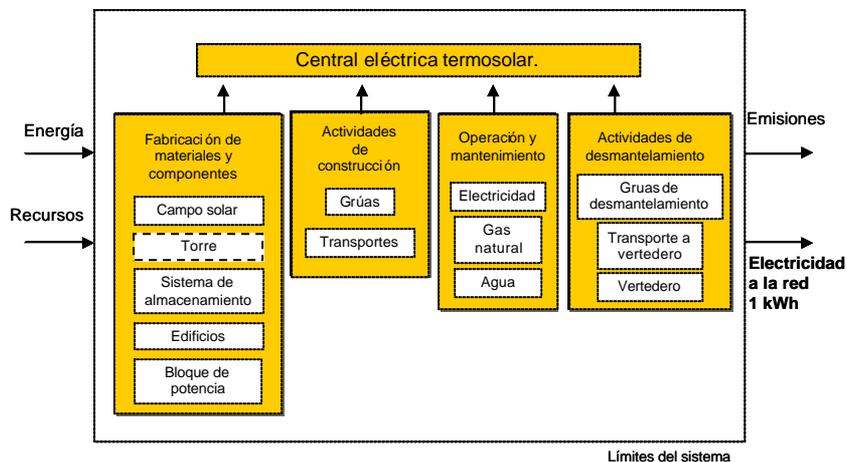
Tecnología	Planta de receptor central	Planta colectores cilindro-parabólicos
Capacidad de almacenamiento	16 horas	7.5 horas
Medio de almacenamiento	Sales fundidas (nitrato de calcio, nitrato de sodio y nitrato de potasio 42:15:43)	Sales fundidas (nitrato de sodio y nitrato de potasio 60:40)
Área ocupada	150 ha	200 ha
Consumo de gas natural anual	48206 MWh	97691 MWh
Electricidad consumida de la red anual	10757 MWh	16338 MWh
Eficiencia del campo solar	45.6%	47.6%
Eficiencia del ciclo térmico	39.09%	35.72%
Eficiencia neta de la planta	16.7%	15.7%

ACV ENERGÍA SOLAR TÉRMICA



Análisis de inventario del ciclo de vida.

Diagrama del proceso



ACV ENERGÍA SOLAR TÉRMICA



Análisis de inventario del ciclo de vida (datos de partida).

HOJA DE DATOS AMBIENTALES			
PROCESO: Captadores cilindro-parabólicos			
Ubicación:			
BALANCE DE MASA			
ENTRADAS		SALIDAS	
Materias primas		Productos y residuos	
- Flat glass, coated at plant	9853.92 kg	Captador	1 Unidad
- Copper, at regional store	17.67 kg		
- Paint, ETH	86.625 kg		
- Occupation, industrial area	3565.7051 m ²		
- Transformation, from arable, non-irrigated	3565.7051 m ²		
- Transformation, to industrial area	3565.7051 m ²		
ENTRADAS DE ENERGÍA			
Fuente		Comentarios	
DATOS AMBIENTALES			
Emisiones al aire		Unidades	Comentarios
FUENTE DE LOS DATOS			
A la hora de montar la planta, se debe tener en cuenta que hay 624 captadores cilindro-parabólicos			

ACV ENERGÍA SOLAR TÉRMICA



Análisis de inventario del ciclo de vida (datos de partida).

HOJA DE DATOS AMBIENTALES					
ESCENARIO: Escenario Reciclaje -Desmantelamiento Planta					
ENTRADAS		SALIDAS			
Materias primas		Productos y residuos			
- Cantidad a desmantelar	203096.9619 t				
ENTRADAS DE ENERGÍA					
Fuente		Comentarios			
- Diesel burned in building machine	8802800 MJ	746 MJ/h			
DATOS DE TRANSPORTE					
Actividad	Medio	Distancia	Carga total		
- Transport, lorry 40 t		20 km	4061939.238 tkm		
TRATAMIENTO DE RESIDUOS					
Separación de Residuos		Resto de Residuos			
- Steel	- 40% - Recycling	- remaining waste	- 100% landfill		
- Cement	- 4.57% - Recycling				
- Paint	- 100% - Landfill				
- Glass	- 100% - Landfill				
- PET/PVC	- 4.57% - Recycling				
- Word	- 100% - Final disposal				
- Coppers	- 100% - Landfill				
- Non ferro	- 100% - Landfill				
- Aluminum	- 40% - Recycling				
- Ferro metals	- 40% - Recycling				
- Sistema de almacenamiento	- 100% - landfill				
FUENTE DE LOS DATOS					
Porcentajes de tratamiento obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, 2004.					



Evaluación del impacto del ciclo de vida

Categorías e indicadores de impacto

Categoría de impacto	Indicador de impacto
Calentamiento global	kg CO ₂ eq
Agotamiento de recursos	kg Sb eq
Destrucción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq
Toxicidad humana	kg 1,4-diclorobenceno eq
Ecotoxicidad del medio acuático	kg 1,4-diclorobenceno eq
Ecotoxicidad del medio terrestre	kg 1,4-diclorobenceno eq
Formación ozono troposférico	kg C ₂ H ₄
Acidificación	kg SO ₂ eq
Eutrofización	kg PO ₄ eq
Demanda de energía acumulada	MJ
Tiempo de Retorno Energético	meses

Universidad de Leiden
 Instituto de Ciencias Ambientales
<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/index.html>



Evaluación del impacto del ciclo de vida

Tiempo de retorno energético

Tiempo necesario para que un sistema de producción de energía produzca la misma cantidad de energía que se ha utilizado en la construcción y desmantelamiento del mismo.

$$EPT = \frac{CED_c}{\left(\frac{E_{net}}{g} - CED_o \right)}$$

CE_{Dc} es la demanda de energía acumulada para la construcción y desmantelamiento de la planta (MJ)

E_{net} es la energía neta producida por la planta al año (MJ/año)

g es el grado de utilización de energía primaria para producir electricidad. El horizonte geográfico en este estudio es España, por lo que el valor de g utilizado es 0,4428.

CE_{D0} es la demanda de energía anual para la operación y el mantenimiento de la planta (MJ/año).

Resultados del ACV



Análisis de Inventario (1/3)

Compounds	Material o service	Unit	Central tower	Parabolic trough	
			17 MW	50 MW	
Solar Field	Heliostate/Solar troughs	Flat glass coated	3180904	6148844	
		Copper	63.558	11026.08	
		Occupation, industrial area	1500000	2225000	
		Transformation, to industrial area	1500000	2225000	
		Paint	42900	54054	
	Drive	reinforcing steel	kg	2158750	
		lubricating oil	kg	107569	
	Foundations	Concrete	m ³	8250	51480
		reinforcing steel	kg	495000	2957073.6
		excavation hydraulic digger	m ³	8250	
	Wiring	wire drawing, copper	kg	36575	
	Metallic structure	reinforcing steel	kg	6550500	12124757
		chromium steel	kg		45957.6
		graphite	kg		187.2
	Absorber tube	chromium steel	kg		315931.36
		glass tube, borosilicate	kg		20564.856
		aluminium oxide	g		2808
		Copper	g		29080
	Thermooil	Diphenil Ether 73.5% and phenol 26.5% w/w	t		363.7375347
	Getters	cash iron	kg		575
	Single-axis troughs	wire drawing, copper	kg		5191.68
		reinforcing steel	kg		86361.4
		nickel	kg		46.176
chromium		kg		46.176	
lubricating oil		kg		8321.04	
pump 40W		p		624	
polyethylene, HDPE		kg		5010.6761	
tower	Concrete	m ³	200		
	reinforcing steel	kg	52000		
	excavation hydraulic digger	m ³	200		

Resultados del ACV



Análisis de Inventario (2/3)

Compounds	Material o service	Unit	Central tower	Parabolic trough	
			17 MW	50 MW	
Buildings and urbanization	Electrical building	Concrete	157	3956.67	
		reinforcing steel	31857	450000	
		steel	9420		
		wood broad		8000	
		Flat glass uncoated		1700	
		cement		86000	
		silica sand		258000	
		sanitary ceramics		250000	
		excavation hydraulic digger	m ³	100	
		Turbine building	Concrete	m ³	925
	reinforcing steel		kg	74970	
	steel		kg	148000	
	Water treatment building	excavation hydraulic digger	m ³	200	
		Concrete	m ³	123	
		reinforcing steel	kg	14820	
	Urbanization	steel	kg	7380	
		excavation hydraulic digger	m ³	100	
		Concrete	m ³	3000	
	Equipment	reinforcing steel	kg	45000	
		steel	t	8500	1825
		HDPE tube	t	80.3	
		PVC tube	t	23.473	
		Concrete	m ³	250	
Equipment	reinforcing steel	kg	5000		
	steel	kg	15000		
	excavation hydraulic digger	m ³	100		

Resultados del ACV



Análisis de Inventario (3/3)

Compounds	Material o service	Unit	Central tower 17 MW	Parabolic trough 50 MW	
Power block	Steam generator	reinforcing steel	257621.5	457200	
		ceramic tiles	16921.5	29700	
	Turbine	reinforcing steel	95449.6	81250	
		chromium steel	4550.4	44050	
		Copper		3750	
		Aluminium		950	
		Ceramic tiles		1900	
	Condenser	reinforcing steel		25000	
	Refrigeration tower	Concrete	m3	84.2815	84.2815
		reinforcing steel	kg	40000	40000
	Degasifier and Preheater	chromium steel	kg	29000	29000
	Pipelines	magnesium allow, AZ91	kg	15000	15000
		PVC tube A		15000	15000
		chromium steel	kg	28000	28000
reinforcing steel		kg	40000		
Storage System	reinforcing steel	t	694.853	724.156	
	chromium steel				
	Ca(NO ₃) ₂ as N	t	129.31		
	KNO ₃ as N	t	1490.45	4396.67	
Construction	diesel burned in building machine	MJ	1967202	1999280	
	transport, lorry 40 t	tkm	2010354	255695	
	Transport, Tanker	tkm		5676	
Dismantling	Landfill	Waste	kg	61396230	1237470
		diesel burned in building machine	MJ		8802800
Operating All the life time		transport, lorry 40 t	tkm	1227924.6	852157.12
		Natural gas	kg	104014000	158974900
		Electricity, Spanish mix	MWh	268925	408450
		Diphenil Ether 73.5% and phenol 26.5% w/w	t		409.2
		water, deionised from operating	kg	260035400.4	
		water, deionised from washing	m3	6.88E-04	
		paint	kg	1072.5	1351.35
		Copper	kg	1.59	275.65
Flat glass coated	kg	79522.6	154047		

Resultados del ACV



Demanda de energía

MJ energía primaria/kWh	Planta de receptor central	Planta colectores cilindro-parabólicos
Campo solar	0.08	0.09
Bloque de potencia	0.007	0.004
Sistema de almacenamiento	0.05	0.08
Torre	3.95E-04	
Edificios	0.024	0.004
Construcción	0.004	0.006
Desmantelamiento	-6.68E-08	-2.87E-04
Subtotal	0.17	0.19
Operación	2.62	2.26
Total	2.79	2.45

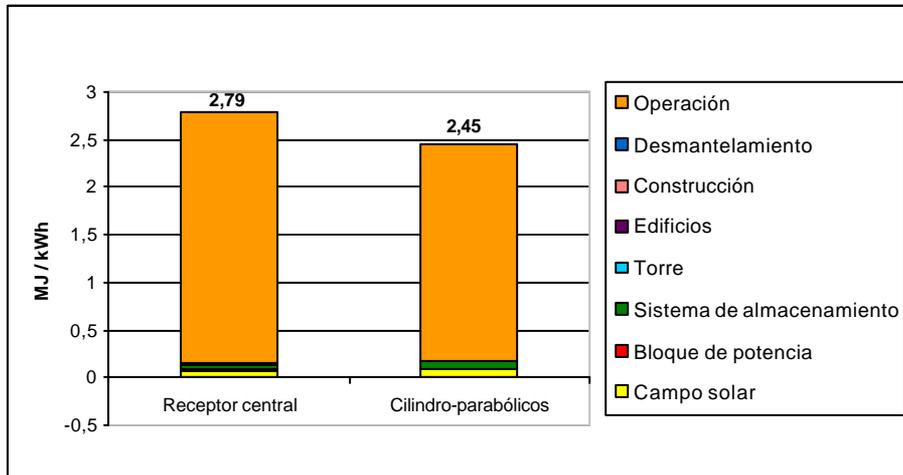
EPT (meses)

12.2

12.5

Resultados del ACV

Demanda de energía



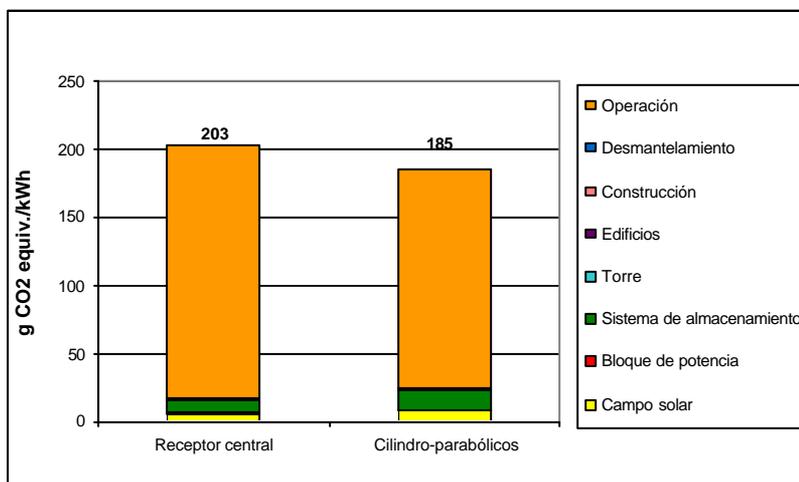
Resultados del ACV

Emisiones de gases de efecto invernadero

g CO ₂ equiv /kWh	Planta de receptor central	Planta colectores cilindro-parabólicos
Campo solar	5.61	7.88
Bloque de potencia	0.64	0.50
Sistema de almacenamiento	9.49	14.60
Torre	0.04	
Edificios	1.03	0.46
Construcción	0.18	0.34
Desmantelamiento	4.31E-04	1.98E-02
Subtotal	17	24
Operación	186	161
Total	203	185

Resultados del ACV

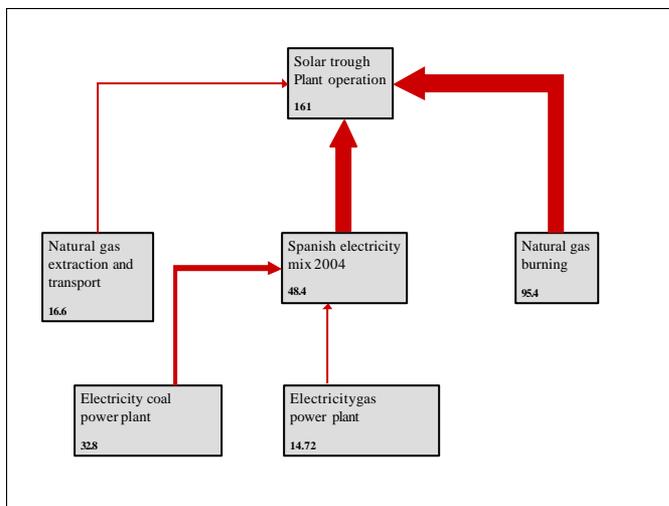
Emisiones de gases de efecto invernadero



Resultados del ACV

Emisiones de gases de efecto invernadero. Operación

Distribución de la emisión

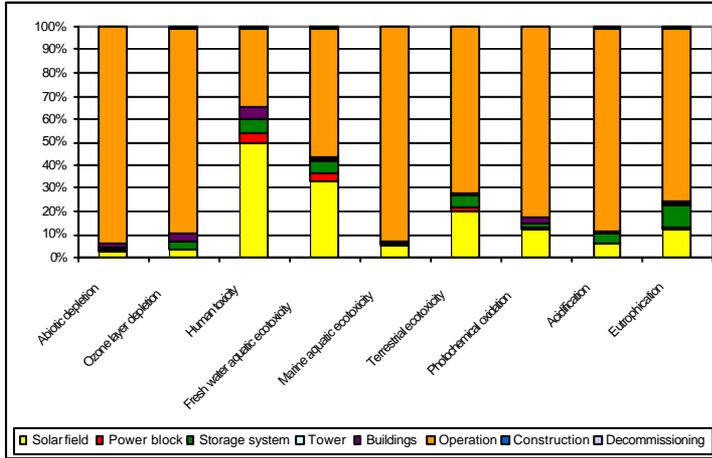




Resultados del ACV



Resultados de otros impactos por kwh



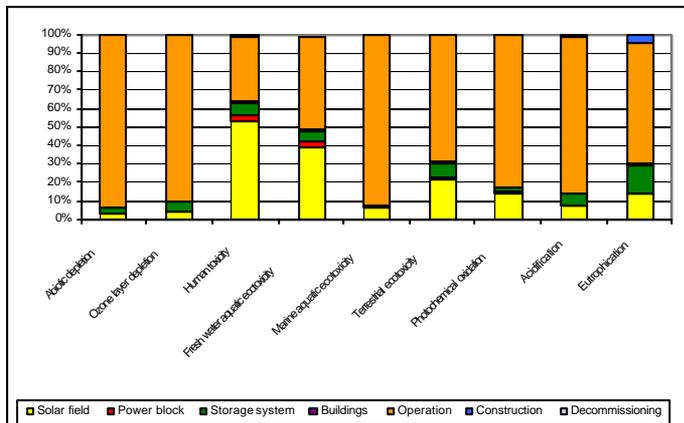
Planta de receptor central



Resultados del ACV



Resultados de otros impactos por kwh



Planta de colectores cilindroparabólicos



Resultados del ACV



Cumplimiento de los objetivos del PER en 2010. Impactos evitados

Escenario de referencia,

✓ 80% de la capacidad instalada tendrá su origen en plantas de colectores cilindro-parabólicos: 400 MW

✓ 20% restante plantas de receptor central: 100 MW.

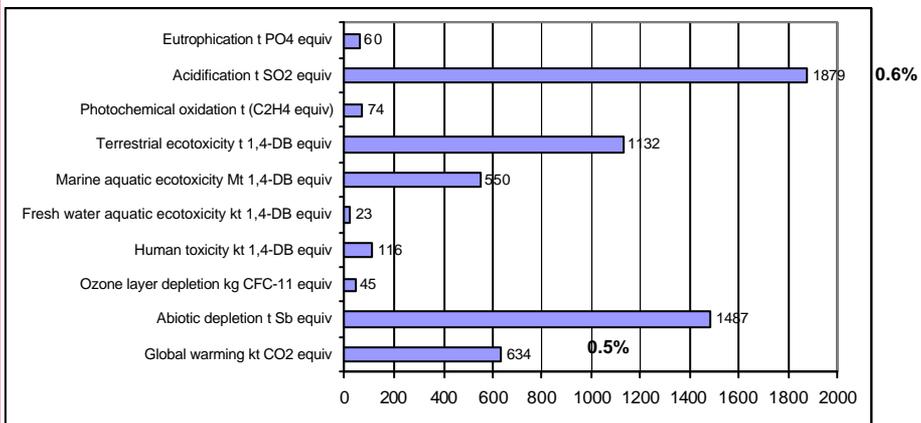
La producción de esta electricidad sustituirá a la generada en el parque generador español y evitará los impactos derivados de ella.



Resultados del ACV



Cumplimiento de los objetivos del PER en 2010. Impactos evitados





Análisis de sensibilidad

Factores que pueden influir de forma importante los resultados obtenidos:

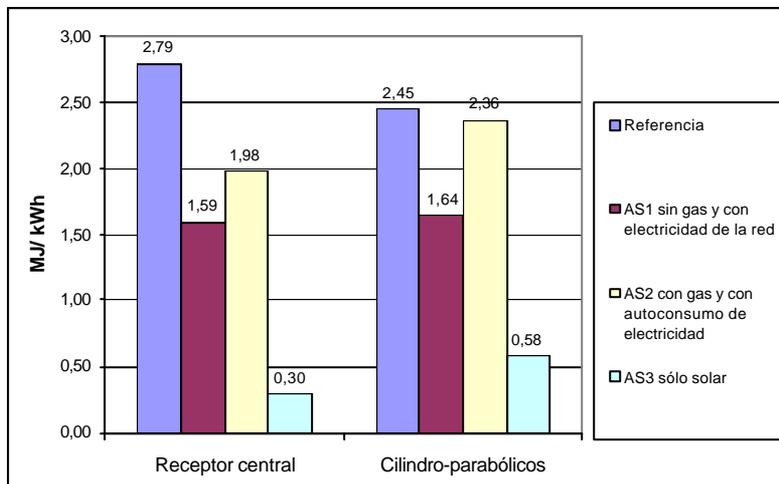
- consumo de gas natural de la planta
- consumo de electricidad de la planta.

Tres escenarios alternativos para cada planta:

- **AS1:** no existe apoyo de gas natural para la generación de electricidad.
- **AS2:** la electricidad necesaria para la planta, la proporciona la propia planta.
- **AS3:** no existe apoyo de gas natural para la generación de electricidad y la electricidad necesaria para la planta, es proporcionada por la propia planta.

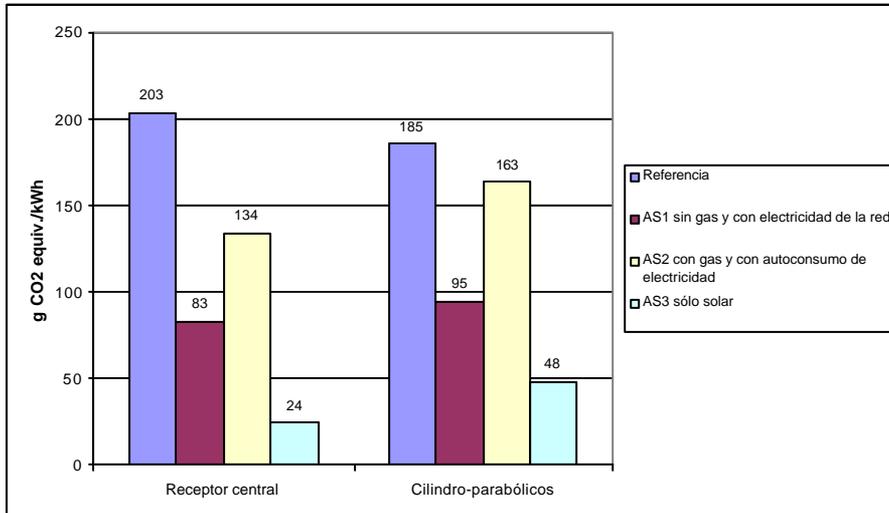


Análisis de sensibilidad. Demanda de energía





Análisis de sensibilidad Emisiones de GEI



Conclusiones

- ✓ Ambas tecnologías tienen un perfil ambiental mucho mejor que sus alternativas fósiles así como mejor que el mix de generación eléctrico actual en España.
- ✓ La demanda de energía acumulada del ciclo de vida de ambas plantas es menor que la energía usada para producirlas y el tiempo de retorno energético calculado es 12 meses aproximadamente.
- ✓ Las emisiones de gases efecto invernadero alcanzan aproximadamente 200 g CO₂ equiv./kWh en el caso de las centrales termosolares, lo que significa un importante ahorro con respecto a plantas de combustibles fósiles, como por ejemplo las centrales de carbón, 1092g CO₂ equiv./kWh, y el mix eléctrico nacional del año evaluado, 500 g CO₂ equiv./kWh



Conclusiones

- ✓ Las emisiones de GEI se deben principalmente al uso de combustibles fósiles (gas natural y electricidad) en la fase de operación de las plantas.
- ✓ El resto de los impactos calculados son menores que los de las alternativas fósiles y que los del mix eléctrico de referencia y la mayor parte de ellos se producen en la etapa de operación de la planta debido al consumo de gas natural y electricidad de la red.



Conclusiones generales I

Frente a la dependencia cada vez mayor que tiene Europa respecto de los combustibles fósiles, las renovables constituyen una de las principales soluciones para garantizar la seguridad de los abastecimientos y la sostenibilidad de la energía en el Continente.

En un contexto nacional, los cultivos energéticos (en este estudio *Brassica carinata* y *Brassica napus*), como fuente de biomasa para electricidad y calor, podrían jugar un papel relevante en la generación de energía



Conclusiones generales II

Un menor rendimiento y el mayor consumo de insumos, influyen negativamente en el ratio de energía fósil, independientemente del sistema energético evaluado.

Los impactos evitados por la implementación del PER son importantes. En el caso concreto de la energía solar térmica, y en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, se evitarían alrededor de 634 kt of CO₂ equivalentes que representan un 0.5% de las emisiones totales del sector energético español en el año estudiado.



**Herramientas para el análisis de la sostenibilidad de
sistemas energéticos**

Aula Magna – ESTCE – Universitat Jaume I – Castellón

11-12 Julio 2011

Muchas gracias por su atención

israel.herrera@ciemat.es
www.ciemat.es

**Análisis de ciclo de vida de cultivos
energéticos y de energía solar
térmica**

**CURSOS
D'ESTIU**
UNIVERSITAT JAUME I
JULIOL 2011

