



UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS AGRÓNOMOS

DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INTEGRADA  
“ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA –INPUT OUTPUT”  
PARA ESPAÑA Y APLICACIÓN A TECNOLOGÍAS  
ENERGÉTICAS AVANZADAS

TESIS DOCTORAL

CRISTINA DE LA RÚA LOPE  
Licenciado en Ciencias Ambientales

2009



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA .....</b>	<b>11</b>
3.1.1	INTRODUCCIÓN.....	11
3.1.2	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PROCESOS .....	14
3.1.2.1	FASES DE UN ACV .....	16
3.1.2.2	LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE ACV.....	34
<b>3.2</b>	<b>ANALISIS INPUT –OUTPUT .....</b>	<b>37</b>
3.2.1	INTRODUCCIÓN.....	37
3.2.2	EL ANÁLISIS INPUT-OUTPUT .....	38
3.2.3	EFFECTO MULTIPLICADOR.....	44
3.2.3.1	LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS INPUT-OUTPUT.....	45
<b>3.3</b>	<b>ANALISIS DE CICLO DE VIDA — INPUT OUTPUT.....</b>	<b>46</b>
3.3.1	INTRODUCCIÓN.....	46
3.3.2	EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA — INPUT OUTPUT .....	47
3.3.2.1	LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CICLO DE VIDA — INPUT OUTPUT.....	49
<b>4</b>	<b>APORTACIONES DE ESTA TESIS.....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA ACV—IO ESPAÑA.....</b>	<b>55</b>
5.1.1	MATRIZ INVERSA DE LEONTIEF .....	56
5.1.2	VECTORES AMBIENTALES Y SOCIALES .....	57
<b>5.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ANÁLISIS .....</b>	<b>70</b>
5.2.1	PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CEBADA.....	70
5.2.1.1	ACV DE BIOETANOL A PARTIR DE CEBADA.....	70
5.2.1.2	ACV –IO DE BIOETANOL A PARTIR DE CEBADA .....	79
5.2.2	PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN UNA PLANTA TERMOSOLAR.....	89
5.2.2.1	ACV DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN UNA PLANTA TERMOSOLAR .....	91
5.2.2.2	ACV –IO DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN UNA PLANTA TERMOSOLAR.....	96
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
<b>6.1</b>	<b>DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA ACV –IO PARA ESPAÑA.....</b>	<b>103</b>
<b>6.2</b>	<b>PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CEBADA .....</b>	<b>106</b>
6.2.1	ACV.....	106
6.2.2	ACV –IO.....	115
6.2.3	COMPARACIÓN DE LAS DOS METODOLOGÍAS APLICADAS A LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN ESPAÑA .....	138
6.2.3.1	COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS PUBLICADOS.....	149
<b>6.3</b>	<b>PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA PLANTA TERMOSOLAR</b>	<b>151</b>
6.3.1	ACV.....	151
6.3.2	ACV –IO.....	167
6.3.3	COMPARACIÓN DE LAS DOS METODOLOGÍAS APLICADAS A LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA PLANTA TERMOSOLAR.....	198

6.3.3.1	COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS PUBLICADOS .....	208
<b>6.4</b>	<b>PERFILES DE SOSTENIBILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS ANALIZADAS UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE ACV-IO DESARROLLADA .....</b>	<b>210</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>213</b>
<b>8</b>	<b>FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>217</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>219</b>
ANEXO I		
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXI
	INDICE DE TABLAS.....	XXIV

## **1 INTRODUCCIÓN**

El ser humano necesita interactuar con la naturaleza para suministrarse de bienes y servicios que aumenten su desarrollo. Los recursos naturales han estado a disponibilidad de éste durante siglos, generando un desarrollo económico en aquellos que los han explotado. Sin embargo, el rápido incremento poblacional en los últimos 200 años ha generado tal demanda de recursos que la naturaleza no puede suministrarlos al ritmo que se necesitan. Además, la disponibilidad de estos recursos se ha visto reducida a una población muy limitada, por lo que las desigualdades sociales entre las poblaciones han aumentado. Adicionalmente a la sobreexplotación y al aumento de desigualdades sociales, el consumo y uso de los recursos conlleva efectos negativos para el medio ambiente y para el ser humano.

Históricamente, el desarrollo de una región se ha medido en términos de crecimiento económico, sin considerar los aspectos medioambientales o sociales, pues la prosperidad se basaba en el uso intensivo de los recursos naturales. Fue en los años 70 cuando los países desarrollados vieron la necesidad de considerarlos. El anuncio de cortes en el suministro de petróleo por la Organización de los Países Exportadores de Petróleo Árabes (OPEP) hizo que el precio del petróleo alcanzara cuatro veces el precio del año anterior a nivel mundial. La clara dependencia energética que existía en los países desarrollados y la desestabilización económica que podría suponer el agotamiento de los recursos energéticos y naturales hizo surgir la preocupación por el medio ambiente y la sociedad.

El desarrollo, tal y como siempre ha sido entendido, genera contaminación, explotación excesiva de los recursos naturales, pérdida de biodiversidad, etc. Asimismo, existe un problema de desigualdad y pobreza. El reparto de las riquezas asociadas a la explotación de recursos no es equitativo, siendo muy pocos los que se desarrollan económicamente

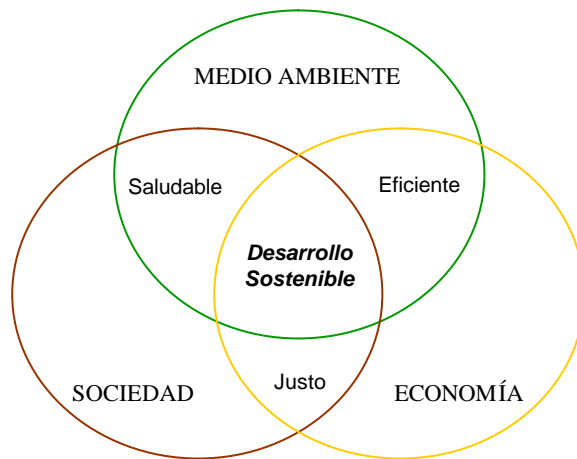
y sin embargo, son los más pobres los que sufren los efectos negativos de estas explotaciones.

En este sentido, la actividad del ser humano plantea varios retos a los que es necesario buscar una solución sin limitar el desarrollo económico. El concepto de desarrollo sostenible se utilizó por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (Brundtland, 1987), realizado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (UNWCED).

En este informe se define desarrollo sostenible como aquel que *“satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”*.

El informe destaca cinco puntos clave para alcanzar un desarrollo sostenible: (i) las demandas del presente no deben limitar las necesidades del futuro, (ii) el futuro económico de la Humanidad está unido al mantenimiento de los ecosistemas, (iii) el sistema actual mundial no es sostenible porque las necesidades de muchos, especialmente los pobres, no están cubiertas, (iv) la protección del medio ambiente es imposible a menos que se mejore el desarrollo económico de los más pobres y (v) es necesario mantener todas las opciones posibles para las generaciones futuras ya que ellos tiene el derecho a decidir sus propias necesidades.

El desarrollo sostenible consta de tres pilares fundamentales que se muestran en la Figura 1: la economía, el medio ambiente y la sociedad. El equilibrio entre estos tres pilares asegurará que: la sociedad vivirá de manera justa, pues la riqueza se repartirá equitativamente, que gozará de buena salud, pues el medio ambiente estará bien conservado y que el uso de los recursos será eficiente.



**Figura 1: Los tres pilares del desarrollo sostenible**

Tras el informe Brundtland, en 1992 se celebró la Cumbre de Río o Cumbre de la Tierra, en la que participaron 179 países. Se reconoció la relación entre los problemas medioambientales, las condiciones económicas y los problemas de la justicia social, así como el alcance tanto local como global de todos ellos. En esta Cumbre se acordaron una serie de compromisos, recogidos en la Agenda 21, dirigidos a alcanzar el desarrollo sostenible con los tres pilares fundamentales. Para ello, se marcaron nuevas perspectivas y recomendaciones desde la educación, los métodos de producción así como la participación ciudadana en la toma de decisiones. Asimismo se insistió en que el desarrollo sostenible puede ser una herramienta para luchar contra la pobreza a la vez que se protege el medio ambiente. De esta cumbre surgieron varias declaraciones de principios:

- Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, donde se definen 27 principios universales para guiar a las naciones a alcanzar el progreso y bienestar de la Humanidad basándose en la responsabilidad medioambiental y económica.

- Declaración de Principios Forestales: 15 principios no vinculantes para la protección, administración y uso más sostenible de los recursos forestales mundiales.
- Convenio sobre Diversidad Biológica: acuerdo vinculante que fue firmado por 168 países, cuyos objetivos son la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y el reparto justo y equitativo de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos.
- Convención Marco sobre el Cambio Climático: acuerdo vinculante que fue firmado por 154 países, cuyo objetivo era la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que evitara el cambio climático producido por el ser humano.

En 1997 se celebró la Asamblea General de las Naciones Unidas en la que se revisaron los objetivos alcanzados tras las recomendaciones de la Cumbre de la Tierra. Debido a que el progreso en cuestión de desarrollo sostenible no era el esperado, la Asamblea puso en funcionamiento el Programa para la Continuidad de la Aplicación de la Agenda 21, con nuevas recomendaciones.

En Septiembre de 2000, se celebró la Cumbre del Milenio en la ciudad de Nueva York en la que participaron 189 países. Esta cumbre dio lugar a la Declaración del Milenio, que recoge ocho objetivos a alcanzar en 2015: la erradicación de la pobreza, la educación primaria universal, la igualdad entre los géneros, la mortalidad infantil, materna, el avance del sida y la sostenibilidad del medio ambiente.

Tras la primera Cumbre de la Tierra, se celebró en 2002 la Cumbre de Johannesburgo, en la que se discutieron nuevamente los retos del desarrollo sostenible. En esta cumbre no sólo participaron representantes de diferentes gobiernos, sino también miembros de organizaciones no gubernamentales y del sector privado.



En 2005 entró en vigor el Protocolo de Kyoto, obligando a los países firmantes a cumplir sus compromisos de reducción de emisiones de seis gases de efecto invernadero dentro del periodo 2008-2012. Aunque fueron 141 países los que firmaron el Protocolo, sólo 74 lo habían ratificado en 2006.

Sin embargo, los compromisos para un desarrollo sostenible deben estar apoyados por la existencia de herramientas capaces de analizar los impactos medioambientales, económicos y sociales. De este modo, nuevos programas, iniciativas políticas económicas y medioambientales o nuevos proyectos podrán evaluarse teniendo en cuenta los tres pilares fundamentales del desarrollo sostenible: la economía, el medio ambiente y la sociedad.

Una de las primeras y principales herramientas para evaluar la sostenibilidad son los Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS), que se definieron por primera vez en la Cumbre de Río (Secretariat, 2007). En el capítulo 40 de la Agenda 21 nacida en esta cumbre se apeló a los países participantes desde todos los ámbitos, tanto gubernamentales como no-gubernamentales, a desarrollar IDS que sirviesen de argumento básico para la toma de decisiones. La Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) inició un programa en 1995 para el desarrollo de estos indicadores. El primer resultado de este grupo de trabajo fue el diseño de 134 indicadores, que fueron utilizados voluntariamente por 22 países entre los años 1996 y 1999. Tras este periodo, los resultados obtenidos por los países que voluntariamente probaron los IDS fueron analizados y revisados. La CDS presentó los resultados de esta revisión en 2001, dando lugar a una nueva lista de 58 IDS.

La última revisión llevada a cabo por la CDS comenzó en 2005, en la que se definieron 50 indicadores clave, dentro de una lista de 96 IDS y en los que se tuvo en cuenta la coherencia de estos indicadores con los indicadores para los objetivos del milenio.

Estos indicadores clave cumplen tres requisitos. En primer lugar engloban los temas más relevantes para el desarrollo sostenible de la mayoría de los países. En segundo lugar, aportan información crítica que otros indicadores no pueden ofrecer. Por último, estos indicadores pueden desarrollarse a partir de datos ya existentes o datos de fácil y rápida disponibilidad en la mayoría de los países.

Para cada uno de estos temas se han desarrollado varios IDS. En el caso de la pobreza, por ejemplo, se pueden encontrar indicadores como la proporción de población que vive por debajo del umbral de la pobreza, los hogares sin acceso a la electricidad o al agua potable. En cuanto a la atmósfera, existen indicadores para el cambio climático, la desaparición de la capa de ozono o la calidad del aire.

Los IDS descritos son de gran utilidad en el análisis y toma de decisiones a nivel nacional e internacional, pues cualquier nueva política o estrategia puede ser evaluada considerando el aspecto económico, social y medioambiental.

Sin embargo, estos indicadores no son utilizados para el análisis de proyectos específicos, como el desarrollo de nuevos productos o la mejora de productos existentes por la dificultad que conllevan.

Son pocas las herramientas que de forma integrada consideran todos los aspectos del desarrollo sostenible, mientras que existen varias que analizan alguno de ellos.

Dentro de éstas últimas, la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) es una de las más utilizadas.

El ACV analiza las entradas de materia y energía a un sistema y las salidas del mismo a la naturaleza en forma de productos, co-productos, emisiones y residuos.

Sin embargo, aunque ampliamente aceptada por la comunidad científica internacional, el ACV presenta algunas dificultades que limitan su aplicación. En primer lugar, analiza exclusivamente los aspectos medioambientales y deja de lado aspectos

económicos que en muchos casos condicionan de manera importante la toma de decisiones.

Además, precisa un gran volumen de datos, no siempre disponibles, que hay que recopilar y tratar para luego ser utilizados con la herramienta de análisis. Por todo ello, la realización del estudio requiere un periodo de tiempo y un presupuesto considerables, por lo que en muchos casos es conveniente aplicar otras herramientas de gestión ambiental.

La aplicación de otras metodologías podría evitar o al menos minimizar estas limitaciones y enriquecer los resultados que se obtienen en un ACV.

En este contexto, a principios de los noventa el Green Design Group (GDG) de la Universidad Carnegie Mellon de Pittsburg (EEUU) comenzó a considerar la posibilidad de utilizar los análisis económicos input-output como una alternativa o aproximación complementaria a las herramientas que ya existían, desarrollando el modelo/herramienta Economic Input-Output Life Cycle Assessment<sup>1</sup> (EIO-LCA) para Estados Unidos (Carnegie et al., 2008).

El EIO-LCA permite medir los efectos directos e indirectos medioambientales y socioeconómicos asociados a un cambio en la demanda de un bien o servicio a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida hasta la utilización del bien o servicio en una región determinada. Este cambio en la demanda viene generado por el desarrollo e implementación de proyectos, inversiones o estrategias.

El desarrollo para España de una herramienta que permita obtener resultados similares a los obtenidos por el EIO-LCA de Estados Unidos, permitiría analizar y evaluar proyectos desde los aspectos económico, social y medioambiental, facilitando a los agentes implicados la toma de decisiones hacia el desarrollo sostenible.

---

<sup>1</sup> [www.eiolca.net](http://www.eiolca.net)



## 2 OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis doctoral es el desarrollo de una herramienta de análisis que se denominará Análisis de Ciclo de Vida –Input Output (ACV –IO) para España. El ACV –IO permitirá estimar los impactos medioambientales y socioeconómicos directos e indirectos asociados a un cambio en la demanda de un bien o servicio a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida previas al uso del mismo, teniendo en cuenta el contexto económico y medioambiental de España.

El ACV –IO se aplicará a dos sistemas de tecnologías energéticas avanzadas:

- Sistema de producción de bioetanol a partir de cebada en España
- Sistema de producción de electricidad en una planta termosolar de tecnología cilindro-parabólica en España

con el objetivo de:

- Estimar los impactos medioambientales y socioeconómicos directos e indirectos asociados a la producción de bioetanol a partir de cebada en España.
- Estimar los impactos medioambientales y socioeconómicos directos e indirectos asociados a la producción de electricidad en una planta termosolar de tecnología cilindro-parabólica en España.
- Identificar las oportunidades de reducir los impactos medioambientales de ambos sistemas a lo largo del ciclo de vida analizado.

Finalmente, se compararán los resultados obtenidos mediante el ACV –IO con los resultados estimados con el ACV de procesos para ambos sistemas, identificando así las oportunidades de mejora de la herramienta aquí desarrollada.



### **3 ESTADO DEL ARTE**

En este apartado se describen el estado del arte de las metodologías utilizadas para la realización de esta tesis: el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de procesos y el Análisis Ciclo de Vida — Input Output (ACV— IO).

Previo al estado del arte del ACV— IO, se describe el Análisis Input-Output, pues es la base metodológica del primero.

#### **3.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

##### **3.1.1 INTRODUCCIÓN**

Los primeros estudios asociados a esta metodología comenzaron en los años 60, siendo uno de los más referenciados el estudio desarrollado por el Midwest Research Institute para la empresa Coca-Cola® en 1969. En todos estos estudios se analizaba el consumo de materias primas y energía demandadas en los sistemas de producción y se realizaba un inventario de los mismos.

A principios de los 70, Meadows (Meadows et al., 1972) y Goldsmith (Goldsmith and Allen, 1972) publicaron dos estudios en los que se relacionaba el agotamiento de recursos naturales y energéticos con el rápido crecimiento de la población. La publicación de otros trabajos dio lugar al desarrollo del modelo “Resource and Environment Profile Analysis” (Cooper) (Hunt and Franklin, 1996), en Estados Unidos que, junto con otros modelos europeos, pueden considerarse los predecesores del ACV pues en ellos comenzaron a tenerse en cuenta factores ambientales y de salud humana (Barnthouse et al., 1998).

Grupos como Franklin Associates Ltd. llegaron a realizar más de 60 análisis principalmente de envases para bebidas. Los datos del inventario obtenidos se agregaban en distintas categorías a las que se les aplicaba un índice de relevancia

(Frankling and Hunt, 1972). El avance en el desarrollo de esta metodología fue rápido en los años 70 debido a las dos crisis del petróleo, que incentivaron la investigación hacia procesos con menos consumos de energía y materias. Sin embargo, cuando esta situación se vio superada, la sociedad dejó de verse amenazada por la falta de recursos energéticos y estos estudios perdieron notoriedad.

En 1989 la Sociedad de Medio Ambiente, Toxicología y Química (Barnthouse et al.) organizó un grupo de trabajo en Smugglers Notch, Vermont, en el que se puso nombre por primera vez a la metodología (Fava et al., 1991). Poco tiempo después, la SETAC organizó otro grupo de trabajo en Leuven, Bélgica con el objetivo de armonizar la metodología (SETAC, 1990).

En 1992 tuvo lugar en Sandestin (Florida, EEUU) el primer seminario sobre Análisis de Ciclo de Vida (ACV) organizado por la SETAC. El seminario pretendía unificar los criterios y conceptos que existían hasta el momento y así crear un marco para la realización de lo que se conoce desde entonces como Análisis de Ciclo de Vida. En 1992 Heijungs y sus colaboradores publicaron la primera guía holandesa en la que se desarrollaba un método de evaluación de impacto para el ACV (Heijungs et al., 1992). El método fue aprobado más tarde por la comunidad científica.

La fase de inventario del ACV se desarrolló con facilidad, sin embargo, la etapa de evaluación de impacto mejoraba más lentamente.

En 1993, la SETAC publicó el primer código internacional sobre ACV (SETAC, 1993), "Code of Practice for Life Cycle Assessment", donde homogeneizaba criterios, definiciones y metodologías. En este código se definió el ACV como "un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno".



En los siguientes años se fueron organizando distintos seminarios de discusión de nuevos retos. En 1994 la SETAC organizó un seminario en Leiden (Huppés and Schneider, 1994), Holanda, en el que se discutieron las dificultades de la asignación de co-productos en el ACV. Se crearon grupos de trabajo que han ido desarrollando informes sobre metodologías de evaluación de impacto (Udo de Haes, 1996), definición de los límites del sistema (Christiansen, 1997) así como otros.

El auge de los ACV fue en aumento. Muchos de estos estudios se utilizaban con fines comerciales para comparar productos con iguales funciones. La falta de homogenización de la metodología ACV presentaba un grave problema a la hora de interpretar los resultados. Fue entonces cuando la International Organization for Standardization (Fava et al.) (Fava et al.) decidió crear grupos de trabajo en 1994 para uniformizar los procedimientos y la terminología, publicando en 1997 la primera norma referida al ACV, ISO 14040:1997 que ha sido revisada en varias ocasiones, siendo las últimas normas publicadas las ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

A su vez, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) unió sus fuerzas a la SETAC para crear en 2002 la Iniciativa de Ciclo de Vida (ICV). El ACV podría ser la base de una herramienta que permita medir la sostenibilidad, uno de los principales objetivos de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (United Nations, 1992)

La ICV desarrolla herramientas que evalúan las oportunidades y riesgos asociados a productos y servicios a lo largo de su ciclo de vida. Los objetivos de estos programas son mejorar las herramientas que existen en la actualidad así como las bases de datos y los indicadores de impactos. La ICV cuenta con tres programas de desarrollo: el Inventario del Ciclo de Vida (life cycle inventory), la gestión del ciclo de vida (life cycle management) y la evaluación del impacto del ciclo de vida (life cycle impact

assessment). A través de esta iniciativa, se han organizado un gran número de seminarios y publicaciones. Según Klöpfer (Klöpffer, 2006) la SETAC tiene que mantener su actividad científica dentro de la ICV mientras que el PNUMA se debe encargar del resto de actividades, de modo que los esfuerzos estén bien dirigidos.

En la actualidad se han abierto dos nuevas ramas de trabajo enfocadas a la evaluación de las implicaciones económicas de un producto en el ciclo de vida. Estos grupos de trabajo se centran en el Análisis Input-Output y el Análisis Híbrido de Ciclo de Vida, que serán comentados posteriormente y en el Análisis de Costes de Ciclo de Vida (ACCV). Rebitzer y Hunkeler (Rebitzer and Hunkeler, 2003) definieron el ACCV como un análisis de los costes asociados al ciclo de vida de un producto, que sean cubiertos directamente por cualquiera de los actores que participan en el ciclo y en el que se tengan en cuenta las externalidades en el ciclo de vida, de modo que puedan ser internalizadas en la toma de decisiones posteriormente. Actualmente se trabaja en el desarrollo de una norma estandarizada comparable a las ISO 14040 para este análisis (Guinée et al., 2002; (Muñoz et al., 2006).

La razón por la que es necesario incorporar los aspectos socioeconómicos al análisis de ciclo de vida es porque el objetivo final de cualquier análisis debe ser el desarrollo de un producto, no sólo beneficioso para el medio ambiente, sino que debe ser sostenible.

### **3.1.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE PROCESOS**

La metodología de Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión medioambiental de “recopilación y evaluación de las entradas, resultados y los impactos ambientales potenciales de un sistema o producto durante su ciclo de vida” (ISO 14040:2006).

Esta metodología describe y analiza los flujos que entran desde la naturaleza al sistema estudiado y los que salen del sistema a la naturaleza a lo largo del ciclo de vida, es decir,

desde la extracción de materias primas y su agotamiento hasta emisiones al aire, agua y suelo así como los cambios de uso del terreno.

Por lo tanto, el ACV es una herramienta adecuada para:

- identificar las oportunidades de reducción de impactos ambientales o bien de consumos energéticos y materiales en un producto o proceso dentro de las distintas etapas de su ciclo de vida
- proporcionar información a los responsables de la toma de decisiones, tanto a nivel privado como público, de las repercusiones medioambientales de, por ejemplo, posibles acciones estratégicas, cambios de diseño o implementación de nuevos productos o políticas
- mejorar el posicionamiento en el mercado de ciertos bienes y servicios mediante la difusión de sus beneficios ambientales asociados.

### 3.1.2.1 Fases de un ACV

En este apartado se describen las 4 fases que componen un estudio de ACV.

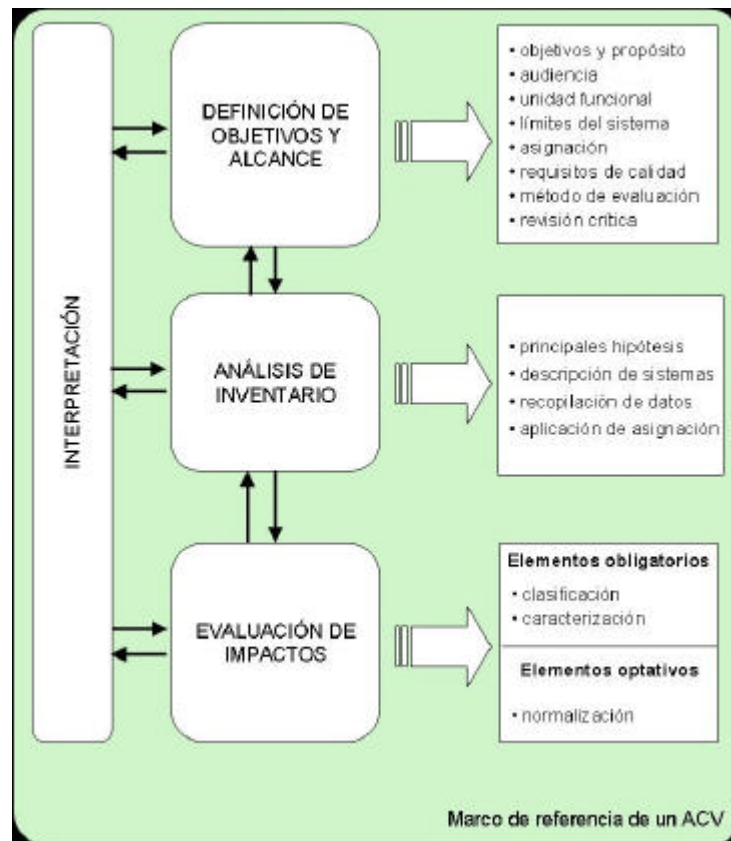


Figura 2: Etapas del ACV. Fuente: Elaboración propia

#### 1. Definición del objetivo y alcance del estudio

Esta primera etapa condiciona de manera importante el resto de elementos del ACV, desde las necesidades de tiempo y recursos hasta los resultados finales (Curran, 2006).

- **Objetivo y propósito del estudio**

En esta fase, se debe definir con exactitud el objetivo del estudio, el propósito con el que se realiza así como la audiencia a la que se comunicarán los resultados una vez finalizado. Además, se debe especificar si estos resultados serán utilizados en aseveraciones comparativas –declaración ambiental en relación con la superioridad o la equivalencia de un producto con respecto a un producto competidor que realiza la misma función (AENOR, 2006)- para su divulgación.

- **Sistemas estudiados, límites del sistema y unidad funcional**

El desarrollo de un ACV requiere un amplio conocimiento del sistema que se va a analizar. En la etapa de definición del objetivo y alcance se describirán estos sistemas, así como la función que desempeñan.

También, se definen los límites del sistema, de modo que todos los procesos dentro de ellos serán analizados mientras que el resto de procesos serán excluidos. Es importante documentar los criterios utilizados para esta decisión. Los procesos que se incluirán dentro de estos límites dependerán del objetivo definido inicialmente, pudiéndose eliminar del análisis algunas etapas que resulten irrelevantes.

Igualmente, se deben definir otros límites como son el horizonte temporal y geográfico y el nivel tecnológico. Este último aspecto determinará cuales son las tecnologías de las que se tomarán los datos. El nivel tecnológico puede considerar tanto datos referidos a tecnología media nacional como a la mejor tecnología disponible.

Una vez que se conoce el sistema a analizar, sus límites y su función, se definirá la unidad funcional. La norma ISO define la unidad funcional como “el desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia” (AENOR, 2006). Es decir, sirve de referencia para todas las entradas y salidas del sistema que se estudia (Lechón et al., 2005) y cobrará especial importancia cuando se trate de estudios comparativos de productos que cumplen la misma función. La unidad funcional debe ser coherente con el objetivo propuesto. Se expresa con frecuencia como una cantidad del producto objeto de estudio, en cuyo caso debe reflejar la cantidad de producto necesaria para realizar la función del sistema (Muñoz et al., 2006).

- **Perspectiva atribucional vs. Perspectiva consecuencial**

Esta primera etapa del ACV puede afectar notablemente el desarrollo del estudio y su influencia en los resultados ya fue descrita por Heintz y Baisnee (Heintz and Baisnée, 1992), los cuales distinguieron dos modos de enfocar un ACV: (i) aquel que describe un sistema y sus cargas ambientales y (ii) aquel que describe cómo varían las cargas ambientales asociadas al sistema como resultado de cambios realizados en éste.

Otros autores, definen estos dos modos de enfoque como la perspectiva “atribucional” y la perspectiva “consecuencial” (Tillman, 2000); (Ekvall and Weidema, 2004).

El ACV atribucional describe las cargas ambientales asociadas al sistema estudiado. En él se utilizaran datos específicos de cada proceso o datos medios y factores de asignación para la distribución de las cargas entre los co-productos (Schmidt, 2008). La magnitud de la unidad funcional no afecta a los resultados, ya que están vinculados linealmente (Rebitzer et al., 2004). Por lo general, se incluyen todas las etapas desde la extracción de las materias primas hasta la gestión final del objeto de estudio. Uno de los supuestos del ACV atribucional es que considera que no hay limitación en la capacidad de demanda y de producción de los bienes, de modo que siempre puede incrementarse la demanda en una unidad más.

El ACV consecuencial describe cuales serán las consecuencias medioambientales de un cambio en el sistema analizado, siendo el cambio bien un aumento o disminución de la demanda del objeto de estudio o una modificación del proceso, lo que obliga utilizar datos marginales.

- **Reglas de asignación**

Frecuentemente se encuentran procesos, dentro de los límites del sistema analizado, que dan lugar a más de un producto además del objeto de estudio. En estos casos es necesario repartir las entradas y salidas al sistema entre todos los productos. Este procedimiento es conocido como asignación y la ISO 14044:2006 lo define como la “distribución de los flujos de entrada o de salida de un proceso o un sistema del producto entre el sistema del producto bajo estudio y uno o más sistemas del producto diferentes”, es decir, un procedimiento en el que se distribuyen las cargas ambientales generadas en el sistema a cada uno de los productos que se obtienen en el mismo. Los procedimientos de asignación han dado lugar a muchas controversias pudiendo influir de manera importante en los resultados del ACV (Weidema, 2001). La ISO 14044:2006 propone, para evitar la asignación, la división del sistema en procesos unitarios – elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el que se identifican las entradas y salidas- de modo que cada proceso sólo de lugar a un producto. Sin embargo, esta solución no suele ser factible y por ello la norma describe tres modos de realizar la asignación.

El primer procedimiento recomendado por las normas ISO es la expansión de los límites del sistema, que fue estudiado por Tillman (Tillman et al., 1991) en un análisis de embalajes a principios de los años noventa. El objetivo de la expansión de los límites del sistema es ampliar los límites de modo que incluyan las funciones adicionales de los co-productos en un sistema equivalente. Este sistema equivalente tiene como salida esos mismos co-productos. Se calculan las cargas del sistema equivalente y se sustraen a las cargas totales del sistema analizado. De esta manera, los resultados para el sistema analizado mostrarán las cargas exclusivamente del bien o servicio objeto de estudio.

El enfoque consecuencial trata de evitar la asignación de cargas entre co-productos mediante la expansión de los límites del sistema (Schmidt, 2008). En esta expansión se incluyen las tecnologías que se verán afectadas por un pequeño cambio. Weidema y sus colaboradores (Weidema et al., 1999) definen esta tecnología como la marginal –aquella que se ve afectada ante pequeños cambios en la demanda. La identificación de las tecnologías marginales afectadas es de gran dificultad por lo que, frecuentemente, se han utilizado datos que reflejan características medias de las instalaciones, intentando minimizar las incertidumbres a la hora de modelizar.

En este sentido, Weidema y otros investigadores (Weidema et al., 1999); (Weidema, 2003) propusieron un procedimiento para identificar la tecnología marginal afectada por un cambio en la demanda de un bien estudiado.

En primer lugar, se debe describir la situación en la que ocurre el cambio en la demanda e identificar el mercado relevante. Una vez definido el mercado, se deben analizar todas las tecnologías o procesos y ver si éstas tienen limitaciones de capacidad para responder a cambios en la demanda. Aquellas que tengan limitaciones, serán descartadas como tecnología marginal.

En algunos casos, los cambios en la demanda afectan tanto al mercado, que se tendrán en cuenta procesos y tecnologías con limitaciones en la capacidad de producción.

Por lo general, las tecnologías más económicas son las más modernas y más eficientes, mientras que las tecnologías más caras son frecuentemente las más antiguas y menos eficientes.

Si el mercado está en expansión, la tecnología con menores costes marginales de producción a largo plazo será la afectada, aumentando su oferta. Cuando el mercado se encuentra en recesión, la tecnología con mayores costes marginales de producción a largo plazo se verá afectada, pudiendo llegar a desaparecer del mercado.



Weidema (Weidema, 2003) presenta varios ejemplos de la aplicación de estas indicaciones para la identificación de los procesos marginales, mostrando cómo en muchas ocasiones, el proceso marginal y el proceso que corresponde a la media del mercado difieren notablemente.

En el enfoque consecuencial, los resultados no están vinculados linealmente a la unidad funcional, sino que existen otro tipo de relaciones entre los procesos, tanto físicas como económicas (Ekvall and Weidema, 2004). Por ello, cuando las relaciones entre procesos sean de tipo económico, las consecuencias de un cambio van a depender de la elasticidad en las curvas de producción y de demanda del producto estudiado así como de la existencia de productos sustitutivos, aspectos no considerados en el ACV y sí en otros modelos (Ekvall and Weidema, 2004). Bouman y otros investigadores (Bouman et al., 2000) estudiaron las similitudes y diferencias entre tres modelos, el Análisis de Flujo de Materiales (AFM), el ACV y el Análisis de Equilibrio Económico (AEE) y su aplicación a un mismo caso de estudio. Bouman propone el uso de los tres análisis de modo combinado o bien el desarrollo de un nuevo modelo híbrido que combine las ventajas de cada análisis para así considerar tanto aspectos medioambientales como económicos.

Sin embargo, no muchos trabajos aplican la expansión de los límites del sistema. Weidema (Weidema, 2001) analiza cuatro razones por las que este procedimiento no siempre se puede aplicar: (i) La expansión de los límites del sistema compensa un cambio en la cantidad producida de un co-producto en el sistema con un cambio equivalente en otro sistema. Pero este procedimiento no es aplicable para los ACV atribucional ya que son estáticos y no analizan cambios en los volúmenes de producción. (ii) En otros casos, es difícil encontrar cuáles son los procesos equivalentes que se ven afectados por el cambio en la demanda de un co-producto. (iii) Además, algunos

procesos a los que se aplica la expansión de los límites del sistema tienen a su vez co-productos, y éstos a su vez tienen más co-productos. En estos casos, la expansión de los límites del sistema sería infinita. (Mourad et al.) Por último, existen productos que no pueden ser sustituidos, por lo que los cambios en las demandas de éstos no afectan a otros sistemas. Weidema argumenta en su trabajo “Avoiding Co-Product Allocation in Life-Cycle Assessment” que estas dificultades se pueden solventar y que en el caso del ACV consecuencial siempre se debe evitar la asignación mediante la expansión de los límites (Weidema, 2001).

Cuando no es posible realizar la expansión de los límites del sistema, la norma ISO propone realizar la asignación de modo que refleje relaciones físicas o de otro tipo entre los diferentes productos. Según Weidema y sus colaboradores (Weidema et al., 1999), la asignación en base a relaciones económicas es relevante sólo en los ACV atribucionales, mientras que la expansión de los límites del sistema sólo es posible en los estudios comparativos, puesto que conlleva un cambio en la demanda de los sistemas analizados. Ekvall y Tillman (Ekvall and Tillman, 1997) distinguen dos tipos de relaciones entre co-productos: orientada a la causa -que describe la relación del sistema de estudio y su causa- y orientada al efecto- donde se estudia la relación del sistema con su efecto.

Asimismo, según los mismos autores, cuando el enfoque del ACV es consecuencial, la asignación debe realizarse en base a relaciones orientadas al efecto. Así pues, realizar una asignación en base al precio de los productos estaría orientada a la causa, ya que el beneficio económico es la razón por la que se producen esos bienes, mientras que la expansión de los límites del sistema está orientada al efecto, puesto que describe el efecto de un cambio (Tillman, 2000).

- **Requisitos de calidad y método de evaluación**

La recopilación de datos es una de las tareas del estudio que más tiempo y recursos requiere. En esta primera etapa se definirán los requisitos de calidad para los datos que se utilizarán, pudiendo reflejar características temporales, geográficas y tecnológicas entre otras. La importancia de la variabilidad de los datos y su influencia en los resultados finales se analiza en pocos estudios (Coulon et al., 1997) a pesar de existir herramientas que facilitan esta tarea. Una de ellas es el uso de indicadores de calidad de datos, que sin embargo, aumenta en gran medida el esfuerzo en la recopilación y tratamiento de datos. Además, se pueden utilizar modelos estocásticos, donde se obtiene como resultado un rango para cada categoría de impacto. Este resultado puede ayudar a identificar las categorías de impacto para las que realmente existen diferencias.

El grupo de trabajo de la SETAC para la mejora de la metodología del inventario de ciclo de vida desarrolló dos conceptos que han servido de guía para la elección del tipo de datos en un ACV (Clift et al., 1998). Dentro del objeto de análisis se pueden distinguir dos planos: (i) el primer plano, cuyos procesos se verán directamente afectados por la toma de decisiones posterior al estudio y (ii) el segundo plano, que contiene todos los procesos que se verán afectados por cambios en el primer plano, asociados por ejemplo a cambios en la demanda de bienes y servicios (Tillman, 2000). Según esta autora, se deben utilizar datos que representen medias anuales de los procesos específicos que forman el primer plano, mientras que para los procesos del segundo plano será conveniente el uso de datos marginales.

En lo referido a los requisitos de datos y el nivel tecnológico, el informe LCANET recomienda el uso de datos que representen la media para aquellos ACV con perspectiva atribucional, mientras que para la perspectiva consecucional recomienda el

uso de datos marginales, de modo que se puedan analizar los efectos generados por un cambio (citado en (Tillman, 2000)).

Es frecuente que los datos necesarios para el estudio no se encuentren con facilidad por lo que existen bases de datos específicas para realizar el ACV que también serán descritas en esta etapa. Las bases de datos siguen un formato estructurado en el que se describe el proceso, las entradas y salidas así como la validez geográfica, temporal, la tecnología y otros datos. Los formatos de estas bases de datos siguen con frecuencia los descritos en la norma estandarizada ISO 14048:2002.

Del mismo modo, se describirá el software que se utilizará para la realización del ACV. Además, en esta etapa se decidirá el método de evaluación de impactos y las categorías de impacto que se utilizarán posteriormente en la etapa de Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida.

- **Audiencia y grupo revisor**

Algunos ACV son estudios internos de empresas que buscan una mejora u optimización de su producción. Otros están realizados para ser divulgados al público, bien sea por interés comercial o para informar, pudiendo comparar sus beneficios ambientales con respecto a otro bien que tenga la misma función. La audiencia a la que se dirige el ACV debe quedar claramente definida en esta primera etapa.

Cuando la audiencia sea pública y se trate de un caso de aseveración comparativa, en el que se destaque la superioridad o equivalencia ambiental de un producto con respecto a otro de iguales funciones, se realizará una revisión crítica, donde un grupo de expertos de ACV y de los procesos que se analizarán, asegurará la coherencia entre los ACV y la independencia en el resultados. Este grupo revisor quedará definido en esta etapa del estudio y debe ser informado de la evolución del estudio, tomando parte en él a lo largo de todo el proceso. La primera revisión crítica se llevará a cabo al definir el objetivo y

alcance del estudio, los límites del sistema y los requisitos en la calidad de los datos (Fava and Pomper, 1997). En esta revisión debe comprobarse la claridad de todos los términos. La segunda revisión crítica se llevará a cabo una vez se hayan recopilado todos los datos. Se verificará que son adecuados con respecto a la definición del objetivo y alcance. Por último, se llevará a cabo una última revisión de los expertos, en la que se comprobará que las conclusiones y observaciones del informe final son consistentes con el objetivo del estudio.

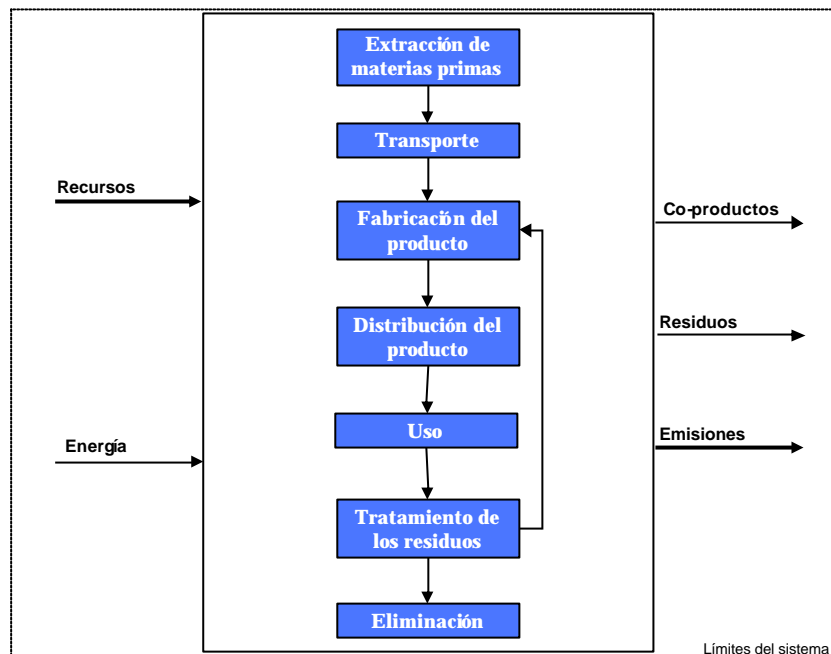
La realización de un ACV debe ser un proceso iterativo y no secuencial por lo que el objetivo y alcance del ACV debe ser revisado en las sucesivas etapas y puede ser modificado a medida que el estudio progrese (Guinée et al., 2002).

## 2. Análisis de inventario del ciclo de vida

En esta etapa se recopilan todos los datos cualitativos y cuantitativos que van a ser necesarios para alcanzar los objetivos que se han definido anteriormente. Se identifican los procesos unitarios que forman el sistema estudiado. Estos procesos están conectados entre sí mediante flujos tanto económicos como físicos. Cada proceso unitario suministra un bien o servicio a otro proceso a la vez que recibe bienes y servicios de otros procesos, de modo que el conjunto de procesos unitarios describe el ciclo de vida completo del objeto de estudio.

Una vez identificados los procesos unitarios se deben definir los límites de cada sistema, así como las características de los datos que se van a requerir. Todas las hipótesis y supuestos que se consideren a lo largo de la etapa de análisis del inventario deberán ser descritos y documentados. Los datos que se recopilan describen las entradas desde la naturaleza al proceso unitario y las salidas de éste a la naturaleza y estarán referidos a la unidad funcional, definida en la primera etapa del estudio.

En la siguiente figura se muestra un esquema de las etapas y las entradas y salidas de materia y energía consideradas en un ciclo de vida, desde la “cuna hasta la tumba”.



**Figura 3: Esquema de las etapas de un ciclo de vida Fuente: Elaboración propia**

Algunos procesos unitarios pueden quedar fuera del análisis, aunque estén dentro de los límites del sistema definidos al comienzo del estudio. La exclusión de estas entradas puede ser justificada por la escasa contribución del proceso al total en función de masas, energía o importancia ambiental. Sin embargo, es difícil garantizar que la exclusión es correcta, ya que en realidad se desconoce la relevancia de lo que va a ser excluido.

El análisis del inventario puede ser descrito como un diagrama de flujo, en el que todos los datos referidos a procesos específicos están agrupados y éstos están interconectados entre sí, creando un árbol con un número finito de procesos (Suh et al., 2004).

Siempre que proceda, se aplicarán los procedimientos de asignación que hayan sido definidos en la primera etapa del ACV.

La recogida de datos para la realización del inventario es probablemente la tarea más laboriosa de todo el estudio, y requerirá una gran inversión de tiempo y de recursos.

Tanto cuando los datos sean facilitados por los agentes involucrados en el estudio, como cuando sean tomados de la bibliografía, es necesario que sean validados con otras fuentes. Guinée y sus colaboradores (Guinée et al., 2002) describen varios modos de validación mediante balance de masas, balance de energía y con datos de otras fuentes.

En la etapa de inventario se tendrán en cuenta los requisitos de calidad de los datos que fueron enunciados en la etapa anterior. Cuando se identifique un dato de baja fiabilidad o una falta de datos importante, debe ser reemplazado por otro.

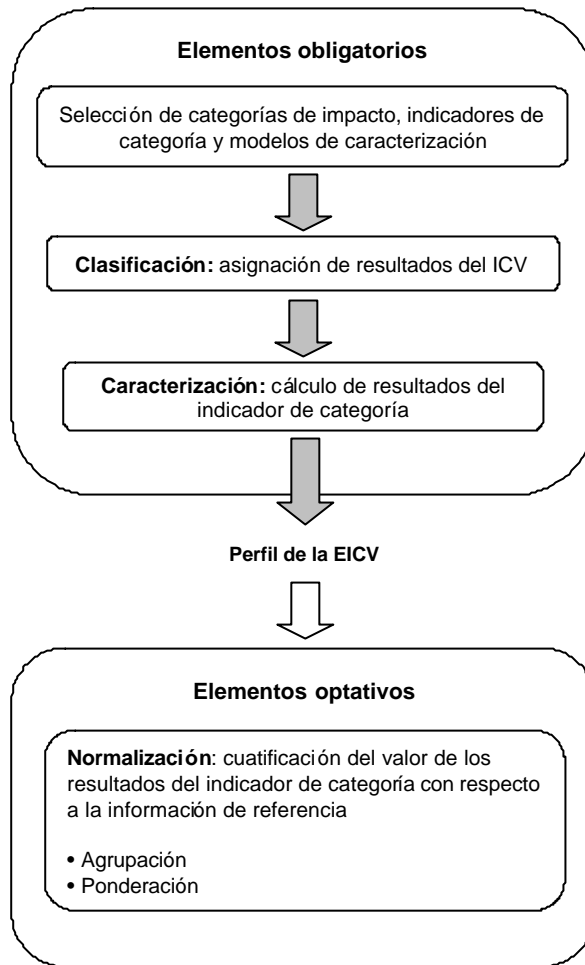
La etapa de análisis de inventario es la etapa más objetiva puesto que muestra los resultados sin ningún juicio de valor. En función del objetivo y de la audiencia a la que va dirigida el estudio, el ACV puede finalizar en esta etapa. En estos casos, los resultados que se obtienen son un listado de entradas y salidas de energía, materias y emisiones al sistema analizado, para cuya comprensión es necesario tener un conocimiento previo de la materia.

### 3. Evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV)

Según la norma ISO 14040:2006, esta etapa tiene por objeto evaluar la importancia de los impactos ambientales potenciales a partir de los resultados del análisis de inventario.

La norma ISO 14040:2006 distingue dos elementos en esta etapa: (i) elementos obligatorios, que comprende la clasificación y caracterización de impactos, y (ii) elementos optativos –la normalización de los impactos.

En la Figura 4 se muestra un esquema de los elementos de esta etapa.



**Figura 4: Elementos de la fase de EICV. Fuente: ISO 14040:2006**

Por lo tanto, cuando se llegue a la etapa de evaluación de impactos en un ACV se debe realizar la clasificación y caracterización de impactos, que se detallará más adelante. Si la finalidad del estudio es la comparación de productos y los resultados son divulgados, la norma ISO limita la EICV a los elementos obligatorios. De este modo, se puede asegurar que los resultados no respondan a juicios de valor ni elementos subjetivos que puedan favorecer a un producto frente a otro.

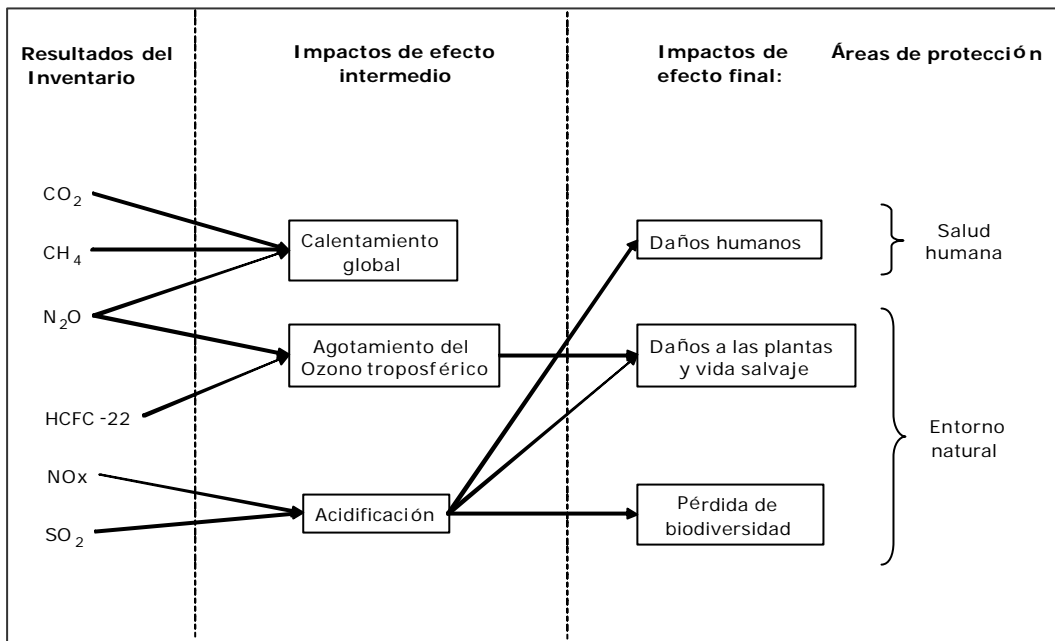
Existe un gran número de métodos de impacto aplicables a los ACV. La elección del método más apropiado para el estudio debe estar condicionada al objetivo y alcance del mismo así como a la audiencia a la que va dirigido.



Se pueden distinguir dos tipos de metodologías (Jolliet et al., 2003):

- Métodos de impactos de efecto intermedio (midpoints): el resultado de estos métodos es un perfil ambiental. Cuantifican el impacto ambiental sobre diversas categorías como el cambio climático, la acidificación, etc. Los resultados se obtienen en unidades referidas a estas categorías como kg de CO<sub>2</sub> equivalente o kg SO<sub>2</sub> equivalente. Los resultados del inventario se someten a una modelización menor que en el siguiente método, por lo que la incertidumbre para los métodos “midpoints” es también más pequeña.
- Métodos de impactos de efecto final (endpoint): analizan el último efecto ambiental, identificando y definiendo el daño de estos impactos sobre el ser humano y la naturaleza. Categorías de impacto de estos métodos son daños a la salud humana, pérdida de biodiversidad, etc y los resultados se expresan en años de vida perdidos, porcentaje de biodiversidad perdida, etc. El cálculo de estos resultados es más difícil y puede dar lugar a mayor número de errores, pero la ventaja frente a los anteriores es la fácil comprensión del estudio por parte de cualquier tipo de audiencia.

La Figura 5 muestra un esquema de los dos tipos de alcance de los métodos de evaluación y su relación con la etapa de inventario.



**Figura 5: Esquema de la relación entre la etapa de inventario y a evaluación de impactos**

En primer lugar, se deben definir las categorías de impacto referidas a efectos ambientales a los que se asignarán los resultados del inventario. Las categorías de impacto deben responder a una serie de requisitos, como ser consistentes con el objetivo y alcance del estudio, ser comprensibles para la audiencia a la que van dirigidas y estar internacionalmente aceptadas. Los resultados obtenidos en el análisis de inventario se asocian a las diferentes categorías de impacto definidas y se aplican factores de caracterización para cada componente de la categoría. Estos factores convierten el resultado del análisis del inventario a una unidad común para cada categoría de impacto, agrupando todos los resultados de esa categoría en un único valor. Los factores de caracterización pueden variar en función del método de evaluación que se utilice en esta etapa.

Las siguientes etapas dentro de la evaluación de impacto ambiental son, como se ha mencionado anteriormente, voluntarias.

La normalización permite comprender la magnitud relativa de cada resultado obtenido para cada categoría de impacto con respecto a un valor de referencia. Los valores de referencia pueden representar, por ejemplo, el valor de esa categoría para el conjunto de la nación.

Si el objetivo del estudio es además identificar la importancia relativa de cada categoría de impacto con respecto al resto de categorías, se lleva a cabo la ponderación de los resultados ya normalizados. De esta forma, se puede finalmente obtener un único valor como resultado, suma de todos los resultados ponderados de cada categoría.

A continuación se describen algunos de los métodos de impacto existentes.

- *Métodos de impacto de efecto final*

**Eco-indicator 99:** es la actualización del anterior método Eco-indicator 95 y se basa en el modelo del daño (Goedkoop and Spriensma, 2001). Tiene en cuenta tres tipos de daños medioambientales para impactos de efecto final o “endpoints”:

- Daños a la salud humana: se expresan en DALY (Disability Adjusted Life Years –años de vida con pérdida de salud) y tienen en cuenta alteraciones respiratorias y efectos cancerígenos entre otros.
- Daños al ecosistema: se expresan en el porcentaje de especies que han desaparecido en un área en concreto debido a impactos ambientales.
- Recursos: el daño a los recursos indica la calidad de los recursos fósiles y minerales que están todavía sin explotar.

El procedimiento de ponderación se lleva a cabo mediante un panel formado por un grupo de personas de Suiza interesadas en el ACV.

**EPS 2000:** es un método de evaluación orientado al daño, cuya utilización está enfocada a estudios internos de compañías para el desarrollo y comparación entre productos (Steen, 1999). El método evalúa cinco impactos finales –salud humana, capacidad de

producción del ecosistema, las reservas de recursos naturales, la biodiversidad y valores culturales. Este método permite la ponderación, representada por el deseo a pagar para evitar un cambio, pero no la normalización.

- *Métodos de impacto de efecto intermedio*

**EDIP2003:** es la última actualización del método EDIP97 (Environmental Design of Industrial Products) (Hauschild and Potting, 2003). Contiene 14 categorías de impacto intermedio o “midpoint” entre las que se encuentran el calentamiento global, la toxicidad humana, etc. La normalización de los resultados se basa en personas equivalentes y la ponderación tiene en cuenta objetivos políticos de reducción de impactos ambientales por persona. La principal ventaja de este método es que se pueden usar factores de diferenciación espacial.

**CML 2001:** desarrollado por el Centro de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden, Holanda (Guinée et al., 2002), se trata de un método de evaluación de impactos intermedios “midpoint”. El método desarrolla tres grupos de categorías de impacto. El primer grupo son las categorías de impacto base, que comprenden indicadores de categoría, un modelo de caracterización y factores de caracterización para ese modelo. Estas categorías deberían incluirse en cualquier ACV. El segundo grupo comprende categorías específicas con modelos de caracterización y factores que deben incluirse en un ACV en función del objetivo y alcance de éste. El último grupo define otras categorías de impacto, cuyos modelos de caracterización todavía están en desarrollo. Permite la normalización y la ponderación de los resultados.

**IMPACT 2002+:** combina la evaluación de impactos intermedios y finales (Jolliet et al., 2003). Contiene 14 categorías de impacto intermedias. Estas 14 categorías – calentamiento global, acidificación, etc.- vinculan los resultados del inventario del ciclo de vida a cuatro categorías de daño –salud humana, calidad de los ecosistemas, cambio

climático y recursos. La normalización se puede realizar tanto para los impactos intermedios como para los finales, mientras que la ponderación no es recomendada por los autores.

#### 4. Interpretación del ciclo de vida

En esta fase se analizan los resultados de las etapas anteriores así como todos los supuestos e hipótesis que se han realizado a lo largo del estudio. Se deben identificar los supuestos principales y comprobar la robustez de los resultados. La consistencia de los resultados se puede determinar a partir del juicio de expertos o bien en base a resultados de otros estudios similares.

Cuando existen inconsistencias, es necesario justificarlas y, siempre que sea posible, se modificarán los factores identificados en las etapas previas, de modo que se corrijan estas inconsistencias.

También se debe comprobar que todos los datos e información relevante se ha tenido en cuenta en el estudio para poder considerarlo completo (Guinée et al., 2002). La participación de expertos internos o externos en el ACV es aconsejable para la realización de esta tarea.

Dado que los ACV se utilizan frecuentemente para la toma de decisiones, la robustez de los resultados debe ser una condición indispensable.

En este sentido, el análisis de sensibilidad analiza cómo pueden variar los resultados cuando los datos, las hipótesis y supuestos que se han escogido para el ACV se modifican. Estas modificaciones se introducen deliberadamente para analizar la robustez. Aunque en la práctica no se pueden analizar cada uno de estos elementos, si es aconsejable realizar al menos análisis de sensibilidad para los factores principales.

El último paso de la etapa de interpretación es la formulación de conclusiones y de recomendaciones. Éstas se harán teniendo en cuenta la audiencia a la que va dirigido el estudio y basadas en los resultados obtenidos en las etapas previas.

### **3.1.2.2 Limitaciones de la metodología de ACV**

Esta metodología resulta de gran utilidad cuando se analizan sistemas o procesos específicos donde se cuenta con una descripción detallada de los mismos ya que mediante este análisis se puede identificar los puntos débiles susceptibles de mejora en el futuro. Sin embargo, la utilización de esta metodología requiere gran dedicación de tiempo y de recursos por el volumen de datos necesarios, ya que no son fáciles de conseguir e incluso en numerosas ocasiones son confidenciales.

Reap realiza una revisión de problemas y limitaciones aún por resolver en el ámbito del ACV (Reap et al., 2008). Según el autor, algunos de los principales problemas derivan de la etapa de definición del objetivo y alcance. Como se ha mencionado anteriormente, en esta etapa es necesario definir correctamente términos como la unidad funcional, los límites del sistema y las reglas de asignación que se utilizarán entre otros.

En cuanto a la unidad funcional, Cooper explica las razones que dificultan la correcta definición de este término (Cooper, 2003). En algunos sistemas, el mismo producto tienen varias funciones, y no todas ellas son tenidas en cuenta en el ACV. Además, en ciertas ocasiones, las funciones que realiza el sistema estudiado son difíciles de cuantificar.

Hischier y Reichart (Hischier and Reichart, 2003) mostraron en su estudio cómo la utilización de diferentes unidades funcionales para un mismo sistema da lugar a diferentes resultados.

Una de las principales propiedades y a su vez limitación del ACV es su naturaleza holística (Guinée et al, 2002). Si se desea realizar un análisis completo del ciclo de vida,

será inevitable seleccionar los límites del sistema y obviar detalles y aspectos para poder simplificar el análisis.

Con respecto a la selección de los límites del sistema, los criterios seguidos deben estar justificados de manera objetiva y estar basados en evidencias científicas. Cuando los límites del sistema no han sido definidos correctamente, los resultados y las interpretaciones obtenidas del estudio pueden no reflejar la realidad del sistema analizado, aumentando el grado de incertidumbre para la toma de decisiones.

La norma ISO 14040 indica que el criterio de selección de los límites del sistema debe ser aquel que incluya las contribuciones de los elementos que sean importantes para el sistema en cuanto a la masa, la energía o la relevancia ambiental.

Sin embargo, Suh (Suh et al., 2004) argumenta que no existe una base teórica o empírica que pueda garantizar que los impactos ambientales serán insignificantes por pequeñas contribuciones a la masa o a la energía. Asimismo, considera que los impactos medioambientales debidos al sector servicios son difícilmente cuantificables en base a la masa o a la energía. Por último, existen procesos cuya contribución individual puede ser insignificante, pero si se consideran todos ellos en conjunto, es posible que esta contribución sea mucho mayor.

Reap define que el criterio ideal de selección de los límites del sistema estaría basado en un porcentaje sobre un indicador de categoría de impacto (Reap et al., 2008). Sin embargo, es consciente de la dificultad de llevar a cabo este criterio, porque requiere un conocimiento completo del sistema estudiado así como una gran cantidad de datos.

Las reglas de asignación son probablemente el aspecto más discutido en el ámbito del ACV. Curran (Curran, 2007) concluye en su estudio que no existe un único método que proporcione una solución única. La expansión de los límites del sistema y la división en procesos unitarios reduce el problema de asignación, pero sin embargo, requiere un

mayor esfuerzo en la recopilación de datos y aumenta tanto la necesidad de recursos para esta labor como los errores e incertidumbres debidos a los datos (Reap et al., 2008).

En cuanto a la etapa de evaluación de impacto, el ACV analiza impactos potenciales, ya que estos impactos no son específicos a nivel temporal ni espacial. Los efectos reales de las cargas al medio ambiente dependerán de cuándo ocurran, dónde, y cómo.

El ACV no tiene en cuenta las especificidades del lugar donde se ubica el sistema analizado. En muchos estudios, esta limitación no tiene por que suponer un problema, sin embargo, ciertos análisis requieren una mayor exactitud geográfica. Varios grupos de investigadores desarrollan métodos, como el anteriormente descrito EDIP2003, en los que se pueda tener en cuenta los impactos locales y regionales, incluyendo información como la densidad de población o la climatología.

Otra limitación es que la metodología ACV no permite realizar análisis dinámicos, por lo que los resultados se encuentran dentro de un marco estacionario. Cuando el objeto de estudio requiera un análisis dinámico en el tiempo, será necesario aplicar otras metodologías o herramientas. El ACV da un tratamiento lineal a los datos y resultados, de modo que analizar un aumento de producción dos veces mayor al actual tendrá el doble de impacto. Sin embargo, los procesos industriales, por ejemplo, no suelen seguir esta linealidad en sus producciones.

La producción y uso de bienes y servicios genera, además de impactos medioambientales, impactos económicos y sociales que debieran ser considerados al analizar estos productos.

Algunos autores como Dreyer (Dreyer et al., 2006) argumentan que muchas de las tomas de decisiones relacionadas con la protección medioambiental y con aspectos sociales y económicos fracasan por estar basadas en ACVs, que dejan fuera estos últimos aspectos.



## **3.2 ANALISIS INPUT –OUTPUT**

### **3.2.1 INTRODUCCIÓN**

Un reto de los economistas ha sido encontrar el modo de representar, mediante esquemas sencillos, la compleja estructura económica de cada país.

El primer desarrollo de esta idea fue llevado a cabo por el economista francés François Quesnay, que en 1758 publicó “Tableau Économique”, donde se representaba de manera sistemática la distribución de gastos de una economía. En esta tabla, Quesnay representaba cómo distribuía un granjero sus ganancias, a la vez que compraba productos agrícolas necesarios para su granja (Miller and Blair, 1985).

Un siglo después de la publicación de Quesnay, Leon Walras (1834-1910) construyó un sistema de ecuaciones simultáneas que describían las interacciones entre compradores y vendedores, creando de esta manera el primer modelo de equilibrio general, en el cual se describían las relaciones de interdependencia existentes entre los componentes que forman el sistema económico. Sin embargo, no fue hasta años más tarde cuando estas contribuciones tuvieron el impacto y el reconocimiento entre los teóricos de la economía.

En 1936, el economista ruso Wassily Leontief (1905-1999) presentó su primer estudio sobre las relaciones entre sectores de la economía de Estados Unidos (Leontief, 1936). Cinco años después publicó su primer libro, “The Structure of the American Economy, 1919-1939” (Leontief, 1941), en el que exponía el análisis input-output, que fue revisado posteriormente por el mismo autor (Leontief, 1953).

Leontief introdujo tres simplificaciones sobre el modelo de Walras. En primer lugar, agrupó diferentes mercancías en grupos homogéneos o sectores, suponiendo que cada sector produce un grupo de mercancías con la misma tecnología. En segundo lugar, introdujo una función lineal y homogénea para describir las relaciones entre la demanda

y oferta. Por último, consideró los sectores finales (consumo, inversión, comercio exterior) como sectores productivos endógenos al análisis. Este último supuesto generó muchas críticas, por lo que el propio Leontief sustituyó el modelo por uno en el que los sectores finales (consumo, inversión, comercio exterior) se consideraban exógenos, estableciéndose a partir de este momento como el método clásico de input-output (del Castillo Cuervo-Arango, 1989), por el que Leontief fue galardonado en 1973 con el premio Nobel de Economía por “el desarrollo del método input-output y su aplicación a los más importantes problemas económicos”.

La metodología Input-Output ha seguido evolucionando posteriormente gracias a otros economistas como el premio Nobel Richard Stone y al desarrollo de ordenadores con potentes herramientas de cálculo. Asimismo, ha servido para configurar, entre otros, los sistemas de cuentas económicas de la Organización de las Naciones Unidas y de Eurostat, la oficina de estadística de la Unión Europea.

Actualmente, en los países miembros de la Unión Europea existe el llamado Sistema Europeo de Cuentas (SEC-95) Económicas Nacionales, Regionales y Trimestrales que describe las reglas contables necesarias para tener estadísticas armonizadas y fiables de la estructura económica de cada país. Consecuentemente, los países miembros deben seguir estas reglas obligatoriamente en la elaboración de sus Cuentas Económicas Nacionales.

### **3.2.2 EL ANÁLISIS INPUT-OUTPUT**

El análisis Input-Output es una herramienta económica utilizada para medir los impactos directos e indirectos en la economía asociados a un cambio en la demanda de bienes y servicios.

Dicho análisis está basado en datos económicos de una región determinada, a nivel nacional, regional, federal, etc. (Miller and Blair, 1985). Las actividades económicas

dentro de este área están divididas en sectores de producción y los datos observados son flujos de bienes y servicios de un sector (productor) a otro (comprador) en un periodo de tiempo determinado. Por lo tanto, los datos representan las compras y las ventas entre los distintos sectores de una economía.

El marco de contabilidad de un territorio a nivel nacional, regional o multi-regional es la base del análisis input-output. Este marco consta de un conjunto de tablas interrelacionadas, donde las diferentes actividades económicas se agregan en ramas de actividad. Los organismos públicos son normalmente los encargados de la elaboración y gestión de estas tablas.

La tabla origen (Figura 6) muestra la oferta de bienes y servicios por producto y tipo de proveedor, distinguiendo la producción nacional y las importaciones.

OFERTA		Ramas de actividad		Resto del mundo	Total
		1	2		
Productos	1	Producción del producto 1 por la rama 1	Producción del producto 1 por la rama 2	Importaciones del producto 1	Oferta total producto 1
...	...				
Total		Producción total de la rama 1	Producción total de la rama 2	Importaciones totales	Oferta total

**Figura 6: Esquema de una tabla origen simplificada**

La tabla de destino (Figura 7) muestra el empleo o uso que hace la economía de los bienes y servicios por producto y tipo de empleo. Es decir, indica lo que se destina a consumos intermedios, consumos finales, formación de capital y exportaciones.

Además se muestra los componentes del valor añadido bruto, dentro del que está considerada la remuneración de los asalariados, los impuestos y subvenciones, etc.

EMPLEOS		Ramras de actividad		Resto del mundo	Consumo final	Formación bruta de capital	Total
		1	...				
Productos	1	Consumo intermedio por producto y rama		Exportaciones	Gasto en consumo final		Empleos totales por productos
	...						
Componente del valor añadido		Valor añadido por componente y rama de actividad					
Total		Insumos totales por rama de actividad					

**Figura 7: Esquema de una tabla destino simplificada**

La tabla simétrica input-output resulta de la combinación de las dos anteriores y muestra la relación entre el consumo (inputs) y la producción (outputs) de cada rama de actividad.

Las tablas origen y destino no son simétricas pues hay sectores que producen más de un bien, y bienes o servicios que son producidos por diferentes sectores o ramas de actividad (Miller and Blair, 1985).

Para poder transformar las tablas origen y destino en una matriz simétrica se debe asumir una de las siguientes hipótesis:

- 1) La de la tecnología del producto, en el que se asume que cada producto se produce con la misma tecnología independientemente de la industria en la que se produzca y, por lo tanto, requiere los mismos insumos para su producción.
- 2) La de la tecnología de la industria, por la que se asume que cada industria produce diferentes productos con la misma tecnología. Esta es la hipótesis asumida en el caso de la contabilidad nacional de España.

Por lo tanto, las tablas input-output son un método sistemático de recopilación y presentación de material estadístico donde diferentes actividades económicas se agrupan

en ramas de actividad (Muñoz, 1993). En estas tablas se representan los flujos o transacciones económicas de unas ramas con otras. La estructura matemática, por tanto, es un número  $n$  de ecuaciones lineales, pudiendo ser representada de manera matricial.

Las columnas representan los componentes del coste de producción de cada rama de actividad económica. Es decir, describen la estructura de los costes que integran el valor de la producción de cada rama de actividad, el cual comprende los costes intermedios y el valor añadido.

Las filas indican cómo se ha distribuido la producción de cada rama de actividad entre los distintos usos posibles.

En la Tabla 1 se describe un esquema simplificado de una tabla input-output donde las columnas muestran los inputs de cada rama de actividad o sector y las filas los outputs.

**Tabla 1: Esquema simplificado de una matriz I-O**

Producción de los sectores	Consumo de los sectores				Producción total $X$
	1	2	3	$n$	
1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{1n}$	$X_1$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{2n}$	$X_2$
3	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{3n}$	$X_3$
$n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	$X_{n3}$	$X_{nn}$	$X_n$
Consumo intermedio $I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_n$	
Valor añadido $V$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_n$	
Producción total $X$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_n$	

Por lo tanto, la producción bruta del sector 1 viene dada por:

**Ecuación 1**

$$X_1 = x_{11} + x_{12} + x_{13} + \dots + x_{1n}$$

$$n = \infty$$

$$X_i = \sum_{j=1} x_{ij}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$j=1$$

A partir de esta tabla se pueden obtener los coeficientes técnicos ( $a_{ij}$ ), que expresan los consumos intermedios que una rama hace de los bienes o servicios producidos por otra para obtener una unidad de producto.

**Ecuación 2**

$$a_{ij} = x_{ij} / X_j$$

donde:

$x_{ij}$  es la cantidad de productos de la rama  $i$  utilizados por la rama  $j$  para obtener su producción  $X_j$

$a_{ij}$  es la necesidad que la rama  $j$  tiene de los productos de la rama  $i$  para producir una unidad del bien  $j$

$X_j$  es la producción bruta del sector  $j$

La Ecuación 2 se puede expresar también como:

**Ecuación 3**

$$x_{ij} = a_{ij} X_j$$

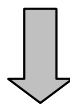
Si se sustituye la Ecuación 3 en la Ecuación 1, la producción total de un sector se define como:

**Ecuación 4**

$$X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n} X_n$$

Cada sector de la economía estudiada, se representa en el análisis input-output con una ecuación lineal, pudiendo ser descritas las relaciones entre sectores de manera matricial como se ha mencionado anteriormente.

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix}$$

**Ecuación 5**

$$X = A X$$

donde:

*A* es la *Matriz de Coeficientes Técnicos*.

No obstante, la producción final de un sector no sólo es la demanda de sectores intermedios. También existe una demanda de bienes que serán utilizados para el consumo y no como entradas para un proceso de producción. Esta demanda corresponde con la demanda final y debe ser añadida a la Ecuación 5.

**Ecuación 6**

$$X = AX + Y$$

Por lo tanto, el esquema visto en la anterior tabla debe ser modificado, incluyendo en la nueva Tabla 2 la demanda final.

**Tabla 2: Esquema de una matriz I-O**

Producción de los sectores	Consumo de los sectores				Demanda final Y	Producción total X
	1	2	3	n		
1	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>1n</sub>	Y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>
2	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>2n</sub>	Y <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>
3	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>3n</sub>	Y <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>
n	X <sub>n1</sub>	X <sub>n2</sub>	X <sub>n3</sub>	X <sub>nn</sub>	Y <sub>n</sub>	X <sub>n</sub>
Consumo intermedio I	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>n</sub>		
Valor añadido V	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>n</sub>	GDP	
Producción total X	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>n</sub>		

De este modo, el nivel de producción bruta que debe existir para satisfacer la demanda intermedia y la demanda final queda definido por X. La ecuación anterior puede expresarse también como:

**Ecuación 7**

$$X = (I - A)^{-1} Y$$

donde:

$(I - A)^{-1}$  es la matriz inversa de Leontief que describe los requerimientos directos e indirectos por unidad de demanda final.

Por lo tanto, conociendo la demanda final de uno o varios sectores de una economía en concreto, se calculará la producción requerida por cada sector dentro la economía, de modo que satisfaga los requerimientos directos e indirectos de esa demanda.

Este modelo permite por tanto estimar los efectos directo e indirectos en la economía derivados de un cambio en la demanda final de bienes y servicios generados por planes públicos, inversiones, etc (Ten Raa, 2005).

### **3.2.3 EFECTO MULTIPLICADOR**

El análisis input-output permite estimar la respuesta de todas las ramas de actividad de la economía estudiada ante un cambio en la demanda de bienes y servicios. Los efectos de cualquier cambio en la demanda de bienes y servicios se propagarán al resto de ramas de actividad, pues los sectores que satisfacen directamente esa demanda deben ser abastecidos a su vez por otros sectores, éstos por otros y así sucesivamente. Esta propagación se conoce con el nombre de *efecto multiplicador*, por el que un incremento externo en el consumo, la inversión o el gasto público produce incrementos en la renta nacional de un sistema económico.

El concepto de multiplicador fue desarrollado por el economista Ralph George Hawtrey en los años 30 y ha sido utilizado desde entonces para justificar decisiones gubernamentales como el gasto público o beneficios fiscales.

Sin embargo, para poder calcular el efecto multiplicador, es necesario distinguir entre:

- Efecto directo: cambio (incremento/disminución) de demanda final deseada, es decir, demanda necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Efecto indirecto: requerimiento indirecto de inputs para satisfacer esa demanda.

El *efecto multiplicador* es el ratio entre los efectos totales (directo e indirecto) y el efecto directo.



En el apartado anterior, se ha definido la matriz inversa de Leontief, que describe los requerimientos directos e indirectos por unidad de demanda final. Si se toma la Ecuación 7 y se desarrolla la inversa de Leontief, se obtiene (Hendrickson et al., 2006):

**Ecuación 8**

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots + \mathbf{A}^n) \mathbf{Y}$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{IY} + \mathbf{AY} + \mathbf{A}^2\mathbf{Y} + \mathbf{A}^3\mathbf{Y} + \dots + \mathbf{A}^n\mathbf{Y}$$

donde:

$\mathbf{IY}$ : calcula el efecto directo de la demanda final deseada

$\mathbf{AY} \dots \mathbf{A}^n\mathbf{Y}$ : calcula el efecto indirecto de la demanda final deseada, es decir, el resto de la cadena de suministro.

Una vez conocidos todos los requerimientos, se podrá calcular el efecto multiplicador de un cambio en la demanda final, que se define como

**Ecuación 9**

$$Em = \frac{Y}{(\mathbf{IY} + \mathbf{AY} + \dots + \mathbf{A}^n\mathbf{Y})}$$

### **3.2.3.1 LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS INPUT-OUTPUT**

El análisis Input-Output resulta de gran utilidad en la toma de decisiones, sin embargo, cuenta con algunas limitaciones que deben ser consideradas en el momento de su utilización y posterior interpretación de los resultados.

La utilización de esta metodología lleva asociada la consideración de una serie de supuestos que simplifican la realidad, de modo que facilite su aplicación y comprensión.

En primer lugar, el análisis Input-Output se fundamenta en la hipótesis de la tecnología de la industria, según la cual cada industria produce diferentes productos con la misma tecnología, lo que no responde con la realidad económica.

En segundo lugar, se asume que los sectores comprendidos en cada rama de actividad de las tablas son homogéneos de modo que distintas actividades de producción de bienes y servicios son consideradas iguales desde el punto de vista del consumo de bienes y servicios (Caldés et al., 2009)

Asimismo, los coeficientes técnicos son fijos, por lo que las necesidades de un sector sobre los bienes de otro vienen determinadas exclusivamente por la cantidad que vaya a ser producida. No se consideran, por lo tanto, efectos en el precio, existencia de bienes sustitutivos, cambios en la tecnología o economías de escala.

En cuanto a los recursos disponibles para la producción, el análisis Input-Output no tiene en cuenta la existencia de limitaciones de ningún tipo. Por tanto, se asume que la capacidad de estimular la producción de un determinado bien o servicio es ilimitada (Caldés et al., 2009). Asimismo, el modelo considera que todos los recursos son utilizados de modo eficiente y a plena capacidad.

Con respecto a la producción, el modelo asume que cualquier incremento en la demanda será satisfecho con nueva producción, ya que es un modelo de flujos, lo que supone que no existe capacidad de almacenaje de bienes.

Finalmente, el hecho de que las tablas simétricas input-output sean publicadas por organismos oficiales con una periodicidad de varios años (5 en el caso de España) supone una limitación, ya que variaciones relevantes en el tiempo, como avances tecnológicos en sectores o cambios en los precios relativos no se actualizarán anualmente (Holland and Cooke, 1992).

### **3.3 ANALISIS DE CICLO DE VIDA — INPUT OUTPUT**

#### **3.3.1 INTRODUCCIÓN**

En el apartado anterior, se ha descrito el análisis Input-Output como una herramienta económica de gran utilidad.

Sin embargo, en los años 70 varios autores analizaron otros campos de aplicación de esta herramienta, concretamente al análisis de los impactos medioambientales (Bullard and Herendeen, 1975; Leontief, 1970). Basado en el análisis input-output desarrollado por Leontief, surgieron distintos modos de enfocar este nuevo alcance.

Leontief sugirió un primer modelo que consistía en añadir una nueva fila y columna a la matriz de coeficientes técnicos  $A$ , de modo que cada nuevo coeficiente describiese la cantidad de contaminante generado por unidad monetaria de producción de cada rama de actividad (Miller and Blair, 1985). Una vez creada esta nueva matriz, se debía calcular la inversa de Leontief y calcular la generación de contaminantes directa e indirectamente asociada a una demanda final.

### **3.3.2 EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA — INPUT OUTPUT**

El nuevo enfoque de Leontief tuvo aceptación, aunque considerar los efectos medioambientales como una variable endógena al modelo, suponía un problema en aquella época a la hora de realizar los cálculos, pues no había capacidad computacional o era excesivamente cara para resolver sistemas de ecuaciones tan complejos (Hendrickson et al., 2006).

La solución a esta dificultad fue considerar los efectos medioambientales como variables exógenas al modelo input-output, añadiendo un vector al modelo desarrollado por Leontief, que describiese los efectos medioambientales de cada rama de actividad por unidad de producción total de la misma rama (Hendrickson et al., 1998).

Por lo tanto, el análisis input-output quedaría redefinido a la siguiente expresión:

**Ecuación 10**

$$\mathbf{M}_i = \mathbf{R}_i \mathbf{X} = \mathbf{R}_i (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{Y}$$

donde:

$M_i$  son los efectos medioambientales directos e indirectos asociados a una producción,  $X$  que satisface un cambio en la demanda final,  $Y$

$(I - A)^{-1}$  es la matriz inversa de Leontief que describe los requerimientos directos e indirectos por unidad de producción de cada rama de actividad.

$Y$  es la demanda final

$R_i$  es el vector ambiental que describe el efecto medioambiental  $i$  por unidad de producción para cada rama de actividad.

En este sentido, ampliar el alcance del análisis Input-Output puede realizarse asumiendo que la cantidad de efectos medioambientales generados por una rama de actividad será proporcional a la producción de la misma. Un incremento en la demanda de un bien generará un incremento de producción en la rama de actividad que lo suministra. Ésta necesitará ser suministrada por otras ramas, encargadas de obtener la materia prima necesaria para ese bien. De este modo, se contabilizarán los efectos ambientales en cada una de estas transacciones, ampliando los límites del sistema a toda la contabilidad nacional.

Fue en los años 90 cuando comenzó a aplicarse esta extensión del análisis Input-Output y a considerarla una metodología adecuada para el ACV.

Así pues, teniendo en cuenta que la contabilidad nacional recoge todas las transacciones económicas entre ramas de actividad de un país, en las que unas ramas suministran a otras y así sucesivamente, se puede definir la extensión medioambiental del análisis Input-Output como un Análisis de Ciclo de Vida — Input Output, pues todos los procesos, desde la obtención de las materias primas hasta la producción del bien demandado, son consideradas en el análisis.

La terminología de Análisis de Ciclo de Vida — Input Output fue dada por el Green Design Group (GDG) del Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de la Universidad Carnegie Mellon de Pittsburgh a principios de los noventa (Lave et al., 1995). El GDG comenzó a considerar la posibilidad de utilizar el análisis input-output

como una alternativa o aproximación complementaria a las herramientas que ya existían de ACV. El resultado final fue el desarrollo del modelo Environmental Input Output – Life Cycle Assessment para Estados Unidos (Hendrickson et al., 2006).

El desarrollo de este nuevo modelo ha generado múltiples aplicaciones. Moriguchi analizó las emisiones de CO<sub>2</sub> de un automóvil utilizando las tablas input-output de la contabilidad nacional japonesa junto con el ACV de procesos (Moriguchi et al., 1993).

Nakamura y Kondo desarrollaron un modelo Input-Output para la gestión de residuos (Nakamura and Kondo, 2002).

### **3.3.2.1 LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CICLO DE VIDA — INPUT OUTPUT**

El análisis de un bien o servicio mediante el ACV-IO ofrece varias ventajas a considerar.

La cantidad de datos necesaria para aplicar el ACV-IO y su nivel de detalle es considerablemente menor que en un ACV de procesos, por lo que el análisis del sistema objeto de estudio se puede llevar a cabo de manera rápida y utilizando menos recursos.

Asimismo, muchos de los datos necesarios para el desarrollo del ACV-IO son recopilados y puestos a disposición del público por organismos públicos de estadística.

Una de las limitaciones del ACV de procesos es la necesidad de definir los límites del sistema analizado, que por ejemplo excluye frecuentemente del análisis la producción de infraestructuras y maquinaria utilizada en el sistema. Sin embargo, Frischknecht muestra como esta exclusión puede influir de manera notable en los resultados finales del análisis (Frischknecht et al., 2007). El ACV-IO permite eliminar esta necesidad, ya que tiene en cuenta todas las interrelaciones de las ramas de actividad de la contabilidad.

Varios autores han analizado la diferencia entre ACV y ACV-IO para ver los efectos de la definición de los límites del sistema (Hendrickson et al., 1997; Weber et al., 1999).

A pesar de las ventajas de este análisis frente a otros, es importante destacar las limitaciones del ACV-IO, que deberán ser consideradas al llevar a cabo un análisis y en la interpretación de los resultados.

En primer lugar, el ACV-IO considera que la cantidad de bienes importados es despreciable para el análisis o que los países exportadores producen sus bienes utilizando la misma tecnología y la misma estructura económica que en la región de análisis, de modo que puede considerarlos bienes nacionales (Suh, 2004). Esta hipótesis puede alejarse de la realidad si se tiene en cuenta que gran parte de los bienes importados son suministrados por países en desarrollo, en los que la estructura económica y tecnológica puede diferir en gran medida de otros países.

Los datos en los que se basa el ACV-IO son Tablas Simétricas Input-Output (TSIO), en las que se presentan diferentes bienes o sectores agregados en ramas de actividad, por lo que la resolución del análisis o nivel de detalle es menor que en el ACV de procesos. Esta agregación además tiene otra limitación. El análisis asume que todos los bienes o sectores que componen una rama de actividad son homogéneos, produciendo el mismo bien o servicio y dando lugar a los mismos efectos ambientales y socioeconómicos.

El ACV-IO es una metodología que debe ser desarrollada para cada región o zona de estudio, y para ello utilizará las tablas input-output así como fuentes de datos que describan datos medioambientales para cada rama de actividad definida en las tablas. Sin embargo, son pocos los países en los que se encuentran datos ambientales correlacionados con las tablas input-output (Suh and Huppel, 2004).

Puesto que la base del ACV-IO son las tablas input-output, y éstas son publicadas con poca periodicidad y con una demora de varios años, cambios en la tecnología de producción, avances tecnológicos o utilización de mejores tecnologías disponibles para el medio ambiente, no serán reflejados en los resultados del análisis.

Al igual que los coeficientes técnicos son fijos en el análisis I-O, los vectores ambientales también lo son en el ACV-IO, siendo totalmente lineales las relaciones entre cambios en la demanda y efectos ambientales.

Es necesario tener en cuenta las dificultades que conlleva el análisis de tecnologías emergentes mediante esta herramienta, ya que no están incluidas en la contabilidad nacional y tampoco en los inventarios de datos medioambientales. En el momento en el que estas tecnologías se añadan a la contabilidad nacional, debe tenerse en cuenta que los costes de producción de los bienes y servicios de las mismas serán al inicio muy elevados pero, a medida que pase el tiempo, el aprendizaje tecnológico hará que estos costes disminuyan. Así pues, si se estimasen con el ACV –IO los impactos asociados a una nueva tecnología al inicio de su desarrollo y cuando ésta ya ha alcanzado su límite de aprendizaje, los impactos medioambientales y socioeconómicos serían muy elevados al inicio y disminuirían con el tiempo, puesto que los costes habrían descendido notablemente. Sin embargo, esta disminución de impactos no sería real, pues los costes considerados inicialmente no son estables. Entonces, lo más adecuado sería analizar la tecnología cuando se ha alcanzado el máximo nivel de aprendizaje tecnológico y los costes de producción se han estabilizado.

Es importante resaltar que el ACV-IO analiza de manera directa sólo hasta la etapa previa al consumo o utilización del bien o servicio. Por lo tanto, el análisis medioambiental de las etapas de uso y de gestión final deberán ser consideradas mediante el uso de otras herramientas (Suh et al., 2004). Son varios los autores que estudian el mejor modo de incorporar procesos de reutilización y reciclaje (Bailey et al., 2004; Ferrer and Ayres, 2000; Nakamura and Kondo, 2002) al ACV-IO.

Por último, los datos de entrada para el ACV-IO son unidades monetarias que definen el cambio en la demanda final. Sin embargo, frecuentemente los sistemas a analizar serán

descritos por unidades físicas. Para vincular estas unidades se utilizan los costes de producción de los bienes estudiados siempre que sea posible o precios. El uso de valores monetarios implica que el análisis puede ser vulnerable a fluctuaciones en el precio y a su heterogeneidad (Suh and Nakamura, 2007).



#### 4 APORTACIONES DE ESTA TESIS

Las aportaciones de esta tesis doctoral son varias.

En primer lugar se ha desarrollado una **herramienta ACV-IO para España** que permitirá analizar los aspectos ambientales más importantes así como aspectos sociales y económicos de cualquier producto, proceso, proyecto, sistema o política de inversión de un modo rápido y eficaz.

Esta herramienta se ha aplicado a dos sistemas energéticos avanzados en comparación con la herramienta de ACV de procesos lo que permitido **constatar la validez** de la herramienta en sus estimaciones ambientales, así como **identificar sus fortalezas y sus limitaciones** más relevantes.

A partir de la aplicación de ambas herramientas a las tecnologías analizadas se han estimado los **impactos medioambientales y socioeconómicos** de las mismas teniendo en cuenta las condiciones particulares de España. Parte de los resultados obtenidos en esta tesis se han publicado en revistas científicas especializadas.

La aplicación de la herramienta de ACV-IO a las tecnologías analizadas ha sentado las bases del diseño de un **indicador de sostenibilidad** cuyo desarrollo completo será una de las líneas de investigación futura de esta tesis doctoral.



## 5 METODOLOGÍA

El presente apartado consta de dos partes diferenciadas. En primer lugar, se describirá el desarrollo de la herramienta de ACV-IO para España. Seguidamente, se describe la aplicación de la metodología de ACV y de ACV –IO al estudio de tecnologías energéticas avanzadas, definiendo los datos necesarios para cada caso de estudio, los procesos incluidos así como las hipótesis de trabajo consideradas.

### 5.1 DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA ACV—IO ESPAÑA

El ACV—IO describe los impactos medioambientales y socio-económicos directos e indirectos asociados a un cambio en la demanda de un bien o servicio a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida hasta su utilización.

El cálculo de estos impactos está definido por la Ecuación 10 anteriormente descrita:

$$M_i = R_i (I - A)^{-1} Y$$

donde:

$M_i$  son los impactos medioambientales directos e indirectos asociados a una producción que satisface un cambio en la demanda final,  $Y$

$(I - A)^{-1}$  es la matriz inversa de Leontief que describe los requerimientos directos e indirectos por unidad de producción de cada rama de actividad.

$Y$  es la demanda final

$R_i$  es el vector ambiental que describe el impacto medioambiental  $i$  por unidad de producción para cada rama de actividad.

El desarrollo del ACV—IO para España se basa en la ecuación anterior, por lo tanto es necesario obtener cada uno de los elementos de la misma para España. Los datos para el desarrollo de la herramienta vendrán definidos por la Contabilidad Nacional de España y los vectores ambientales y sociales de las ramas de actividad consideradas.

### **5.1.1 MATRIZ INVERSA DE LEONTIEF**

La economía nacional viene definida por las actividades de empresas que generan bienes y servicios, que son vendidos en los mercados. Estas actividades son múltiples y es necesario contar con un sistema o código para clasificarlas y organizarlas.

La organización de estas actividades en los países miembros de la Unión Europea está definida por el Sistema Europeo Cuentas Nacionales, en el que se establecen las normas a seguir para la elaboración de las cuentas nacionales de cada país. España ha ido adaptando estas normas a la elaboración de sus cuentas nacionales. La Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) disponible en el momento de elaboración de esta tesis corresponde a la revisión 1 de 1993 (INE, 1993) y el Instituto Nacional de Estadística (INE) es el organismo público encargado de la elaboración de las Cuentas Nacionales.

La CNAE sigue tres criterios para agrupar las actividades que configuran una economía: (i) en función de los inputs utilizados por la actividad, (ii) en función del proceso tecnológico de fabricación utilizado y (iii) en función del destino de los productos obtenidos.

Para el desarrollo de la herramienta ACV—IO, se ha utilizado la última tabla publicada por el INE, la Tabla Simétrica Input Output (TSIO) de España de 2000, que consta de 73 ramas de actividad, donde se incluyen ramas de actividad agrarias, de pesca, industriales, de construcción y de servicios, tanto privados como públicos.

La TSIO ofrece los datos detallados sobre los consumos y los empleos de bienes y servicios para cada rama de actividad en millones de €<sub>2000</sub>. De este modo, es posible conocer cual es la producción anual de cada rama de actividad y obtener también los coeficientes técnicos para la elaboración de la Matriz Inversa de Leontief. Asimismo,

dentro de la Contabilidad Nacional del INE, se encuentran las Tablas de Origen y Destino de 2000, a partir de las cuales el INE elabora la TSIO.

### 5.1.2 VECTORES AMBIENTALES Y SOCIALES

Los distintos vectores  $R_i$  describen el impacto medioambiental y social  $i$  por unidad de producción para cada rama de actividad. Para crear estos vectores es necesario, por lo tanto, conocer los datos anuales medioambientales y sociales –consumos energéticos, emisiones, empleo ...– asociados a cada rama de actividad de la contabilidad nacional. A partir de estos datos, y conociendo la producción anual total de cada rama, se construyen los distintos vectores  $R_i$ . Los datos utilizados para la elaboración de los vectores ambientales y sociales se refieren al año 2000, puesto que la TSIO de España refleja la contabilidad nacional de ese mismo año.

Los vectores que se han incluido en el desarrollo de la herramienta ACV—IO para España permiten obtener los impactos referidos a:

- Consumo energético total (TJ)
  - Emisiones de CO<sub>2</sub> (t)
  - Emisiones de N<sub>2</sub>O (t)
  - Emisiones de CH<sub>4</sub> (t)
  - Emisiones de NO<sub>x</sub> (t)
  - Emisiones de SO<sub>x</sub> (t)
  - Emisiones de CO (t)
  - Emisiones de COVNM (t)
- } Vectores ambientales
- 
- Actividad económica (M€)
  - Empleo total equivalente (personas)
- } Vectores sociales

Los datos necesarios para el desarrollo de estos vectores se han obtenido de diferentes organismos públicos, estando a plena disposición del público.

## **Energía**

Los datos para la elaboración de esta tesis se han tomado de EUROSTAT<sup>2</sup>, aunque se han realizado consultas a diversas fuentes de datos, entre las que destacan el INE, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía<sup>3</sup> (IDAE) y el Consejo Nacional de la Energía<sup>4</sup> (CNE).

EUROSTAT es la oficina europea de estadística (Statistical Office of the European Communities). Produce y ofrece gratuitamente datos sobre los estados miembros de la Unión Europea e impulsa métodos estadísticos para armonizar la información estadística de cada estado miembro.

EUROSTAT ofrece datos estadísticos sobre 9 grandes temas: generales y regionales; económicos y financieros; de población y condiciones sociales; industriales, comerciales y de servicios; agrícolas y de pesca; sobre el comercio exterior; sobre transportes; de energía y medio ambiente y, por último, de ciencia y tecnología.

En lo referente a energía, EUROSTAT ofrece tres grandes bloques de información. En primer lugar, datos anuales y mensuales de los mercados eléctricos. En segundo lugar, se puede obtener datos sobre el abastecimiento, transformación y consumo de distintas fuentes de energía para el sector residencial, industrial y servicios. En este mismo bloque se pueden obtener datos sobre las capacidades de refino de petróleo así como las cantidades de energía importadas y exportadas. Por último, están a disposición estadísticas anuales y mensuales de precios para el gas la electricidad, el petróleo y sus derivados.

Los datos para el desarrollo del vector ambiental de consumo total de energía se han obtenido del segundo bloque anteriormente mencionado. Los datos iniciales ofrecidos por EUROSTAT se pueden consultar en el Anexo en la Tabla 63.

---

<sup>2</sup> <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/introduction>

<sup>3</sup> <http://www.idae.es/>

<sup>4</sup> <http://www.cne.es/cne/Home>

Para realizar la consulta, se ha de seleccionar la fecha de referencia, la zona geográfica y las unidades en las que se quieren los datos. Los resultados de la búsqueda en EUROSTAT se muestran para estas categorías:

- Agricultura
- Sectores energéticos
- Industria
- Transporte
- Servicios
- Sector residencial

Existen algunas actividades en EUROSTAT que no necesitan ser desagregadas y pueden ser directamente asignadas a su correspondiente rama de actividad de la contabilidad nacional, como en el caso de la Agricultura.

Del mismo modo, los datos de consumo energético para el Transporte están ya desagregados en cuatro medios de transporte que corresponden a los descritos en la contabilidad nacional de España: *transporte por ferrocarril*, *transporte terrestre*, *transporte marítimo* y *transporte aéreo*.

No obstante, dado que el vector de consumo total de energía ha de contener información para las 73 ramas de actividad descritas en la contabilidad nacional, es necesario desagregar algunos de los datos de EUROSTAT.

En lo referente a la categoría Sectores energéticos, ésta ofrece información directa sobre las siguientes ramas de actividad: (i) *coquerías, refino y combustibles nucleares*, (ii) *producción y distribución de energía eléctrica* y (iii) *producción y distribución de gas*.

Para la estimación de los consumos energéticos del resto de ramas de actividades pertenecientes a este grupo –*extracción de antracita, hulla, lignito y turba; extracción de crudos de petróleo y gas natural y extracción de uranio y torio* – se utilizó la tabla destino de la contabilidad nacional. En la tabla destino, se puede identificar el dinero

que cada rama de actividad invierte en la adquisición de diferentes productos, como muestra la Tabla 3. Así pues, si se conoce el precio de dichos productos en el año 2000, se puede estimar para cada rama de actividad, la cantidad de producto adquirido.

**Tabla 3: Tabla destino a precios básicos millones €<sub>2000</sub>.**

Productos	Ramas de actividad	Extracción de antracita, hulla, lignito y turba
Antracita		0.1
Petróleo crudo		-
Gas natural, minerales de uranio y torio.		-
Coque, refino de petróleo y combustible nuclear		60.8
Producción y distribución de electricidad		79.9
Producción y distribución de gas		0.4

Este mismo criterio se ha seguido para las ramas de actividad *Captación, depuración y distribución de agua y Pesca y acuicultura*.

Las desagregaciones de la Industria y Servicios han sido las más laboriosas y complejas. Eurostat suministra los datos de consumo energético para 10 actividades industriales principales y una de servicios que se definen a continuación:

- Industria química
- Industria del hierro y el acero
- Industria de metales no ferrosos
- Industria de otros productos minerales no metálicos
- Industria de la alimentación, bebida y tabaco.
- Industria textil del cuero y confección.
- Industria del papel y de la imprenta
- Industria de la ingeniería y otros metales
- Otras industrias no clasificadas
- Industrias extractivas
- Servicios



El consumo energético de cada una de estas actividades industriales es, en realidad, el consumo agregado de varias ramas de actividad. Para conocer qué ramas de actividad están contenidas en cada actividad industrial de EUROSTAT, se puede consultar RAMON<sup>5</sup>, el Servidor de Metadata de EUROSTAT.

RAMON contiene una base de datos de EUROSTAT clasificados en distintas categorías, como legislaciones, metodologías, códigos de estándares y glosarios entre otros. Dentro de esta última categoría se encuentra CODED (Eurostat's Concepts and Definitions Database), un glosario de términos y conceptos relativos a los estudios estadísticos de EUROSTAT.

De esta forma, el conjunto de ramas de actividad incluidas en cada una de las 10 actividades industriales y servicios presentados en EUROSTAT pueden identificarse mediante la consulta en CODED, de modo que pueden ser asociados a su correspondiente rama de actividad de la contabilidad nacional. El resultado de esta asociación puede encontrarse en el Anexo en la Tabla 64.

Una vez que se conoce la relación entre los datos de EUROSTAT y las ramas de actividad relativas a la industria y a los servicios, es necesario asignar los consumos energéticos a cada rama de actividad.

Como se ha mencionado anteriormente, EUROSTAT describe los consumos energéticos para 10 actividades industriales. La desagregación de estos consumos en las ramas de actividad correspondientes de la TSIO se realiza utilizando los datos de la Encuesta de Consumos Energéticos<sup>6</sup> que el INE elabora bianualmente. Esta encuesta describe los consumos energéticos en miles de € por rama de actividad industrial principalmente, desagregadas de manera similar a la TSIO.

---

<sup>5</sup> [http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/index.cfm?TargetUrl=DSP\\_PUB\\_WELC](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/index.cfm?TargetUrl=DSP_PUB_WELC)

<sup>6</sup> <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t04/p01/a2001/10/&file=01002.px&type=pcaxis>

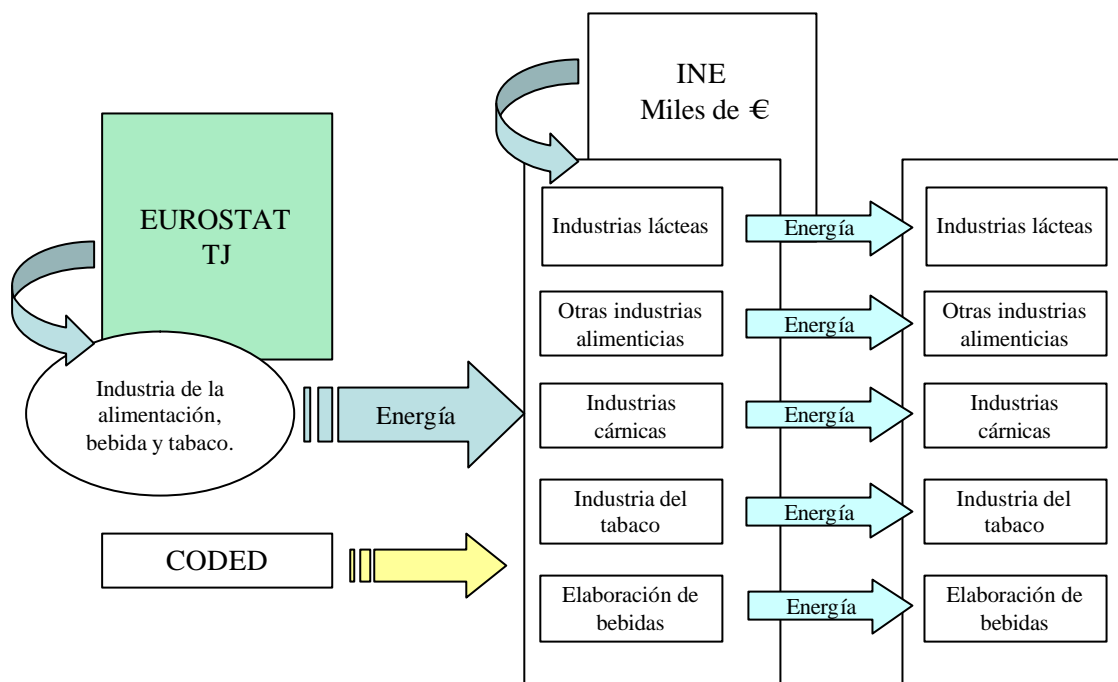
Es posible suponer que dentro de cada uno de los 10 grupos de EUROSTAT, todas las ramas de actividad incluidas pagan lo mismo por la energía que consumen.

Ya que se conocen las ramas incluidas en cada grupo y se asume que pagan todas lo mismo por la energía que consumen, se puede calcular el porcentaje que representa el gasto energético de cada una de ellas respecto al total del grupo. Estos porcentajes se utilizan para desagregar el consumo energético de cada grupo de EUROSTAT. La Tabla 4 muestra un ejemplo de desagregación para el dato de EUROSTAT referido a la Industria de la alimentación, bebida y tabaco.

**Tabla 4: Gasto en miles de € de productos energéticos. Encuesta de Consumo Energético. INE**

EUROSTAT	Miles €	Total consumos energéticos	%	Carbón	%	Productos petrolíferos	%
	Ramas de actividad						
Industria de la alimentación, bebida y tabaco	Industrias cárnicas	155714	17,57	234	6,15	61501	23,79
	Industrias lácteas	102228	11,53	0	0,00	19822	7,67
	Otras industrias alimenticias	501160	56,54	3059	80,42	152323	58,92
	Elaboración de bebidas	119466	13,48	511	13,43	22573	8,73
	Industria del tabaco	7825	0,88	0	0,00	2288	0,89
	TOTAL	886393	100	3804	100	258507	100

Para facilitar la comprensión, la Figura 8 muestra el esquema del proceso seguido en la desagregación de esta actividad.



**Figura 8: Esquema explicativo de la desagregación de una actividad industrial**

Como se ilustra en la Figura 8, a partir del glosario CODED, se identifican cinco ramas de actividad de la contabilidad nacional española 2000 incluidas en el dato de EUROSTAT: *Industrias cármicas, lácteas, otras industrias alimenticias, elaboración de bebidas e industria del tabaco*. A través de la Encuesta de Consumos Energéticos del INE (Tabla 4), que describe el consumo productos energéticos en miles de € de cada ramas de actividad, se desagrega el consumo energético total de EUROSTAT en cada rama de actividad de la contabilidad española de 2000.

Finalmente, el último grupo incluido en los datos de EUROSTAT es el de Hogares, en el que se contabilizan los consumos de electricidad y otros combustibles para calefacción, luz y agua caliente, pero no el consumo energético asociado al transporte, que ya se ha considerado en su rama de actividad correspondiente. El consumo de energía de este grupo se ha asignado a la rama de actividad *Hogares que emplean*

*personal doméstico*, pues es la única rama referida a hogares de la TSIO de España 2000. Este tratamiento puede conllevar un cierto grado de error ya que, los hogares que emplean personal doméstico no incluyen la totalidad de los hogares.

Por último, una vez estimados todos los consumos energéticos para cada rama de actividad de la TSIO, se divide cada uno de ellos por su producción final en millones €<sub>2000</sub>, obteniéndose así el vector ambiental de consumos energéticos en TJ por millón de €

### **Emisiones**

Los datos utilizados para la elaboración de los vectores de emisiones al aire han sido tomados del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España para el periodo 1990 a 2006 de la Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente (EIONET, 2008). En la Tabla 65 del Anexo se muestran los datos originales.

A continuación se enumeran las categorías principales que lo conforman:

- Total Emisiones Nacionales
- Energía
- Procesos industriales
- Utilización de solventes y otros productos
- Agricultura
- Silvicultura, uso y cambios de uso del suelo
- Residuos
- Otros

Aunque dentro de cada uno de estos grupos, se definen algunos sectores y ramas de actividad que coinciden con los descritos en la TSIO de España, en la mayoría de los casos ha sido necesaria la desagregación de los datos originales.

Para ello se han tenido en cuenta varias fuentes de información:

- la Clasificación Nacional de Actividades Económicas de España ha servido de guía para conocer las actividades contenidas en cada grupo.

- las Cuentas Satélite Ambientales del INE<sup>7</sup> donde se suministran datos estadísticos sobre emisiones atmosféricas por actividad económica, con un nivel de desagregación mayor que el ofrecido por la EIONET.
- la producción total de cada rama de actividad en la TSIO, que se utilizará como referencia en los casos en los que no exista otro modo de desagregar los datos.

Para proceder a la desagregación, se han identificado en primer lugar las ramas de actividad incluidas en cada grupo de datos del inventario de emisiones. Se han calculado el porcentaje que representan las emisiones de cada rama de actividad para ese grupo a partir de los datos del INE. Finalmente, estos porcentajes se han aplicado al dato de emisiones del grupo del inventario para desagregarlo en ramas de actividad.

El proceso que se ha seguido se muestra a continuación mediante un ejemplo. La Tabla 5 muestra el inventario de emisiones para el conjunto “Pasta, papel e imprenta”.

**Tabla 5: Inventario de emisiones España año 2000**

2000, toneladas	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Pasta, papel e imprenta	5304043.86	748.64	239.50

Según las descripciones de la CNAE, dentro de este conjunto se pueden identificar dos ramas de actividad: (i) *industria del papel* y (ii) *edición y artes gráficas*.

Para desagregar el dato del inventario de emisiones en las dos ramas de actividad correspondientes, se utilizan los datos de emisiones ofrecidos por el INE, Tabla 6.

**Tabla 6: Cuenta satélite de emisiones para España año 2000**

2000	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O	
	toneladas	%	toneladas	%	toneladas	%
Industria del papel	2473000	87,08	3215	99,08	238	85,61
Edición y artes gráficas	367000	12,92	30	00,92	40	14,39
TOTAL	2840000	100	3245	100	278	100

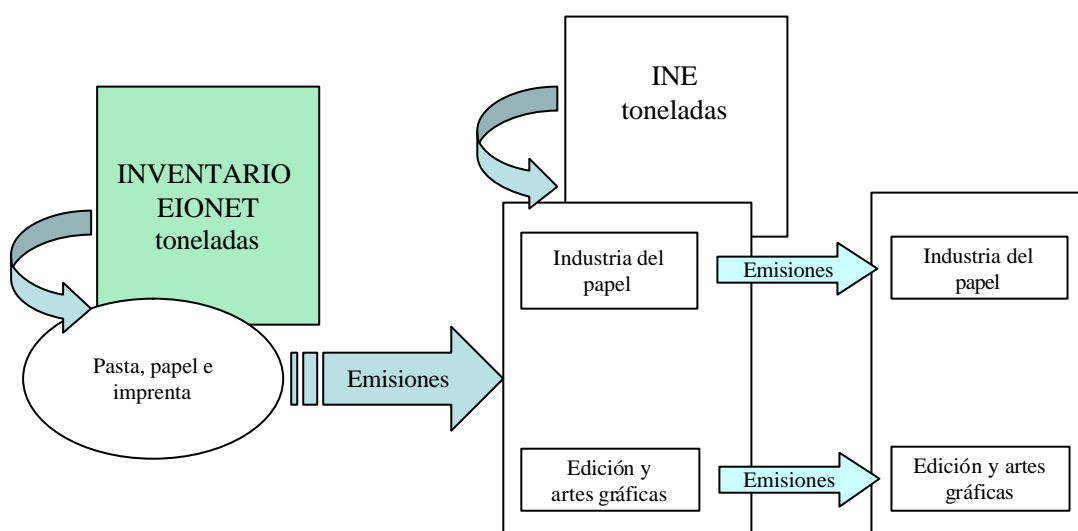
<sup>7</sup> <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft26%2Fp067&file=inebase&L=0>

De este modo, la desagregación del dato del Inventario de emisiones puede realizarse en base a los porcentajes que supone n las emisiones de cada rama de actividad analizada al total del conjunto definido en el inventario. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7: Desagregación de emisiones para el conjunto *Pasta, Papel e Imprenta***

Toneladas	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Industria del papel	4618626,92	741,72	205,04
Edición y artes gráficas	685416,94	6,92	34,46

El siguiente esquema muestra los pasos que se han llevado a cabo en la desagregación de la Pasta, Papel e Imprenta.



**Figura 9: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones a partir de emisiones atmosféricas del INE**

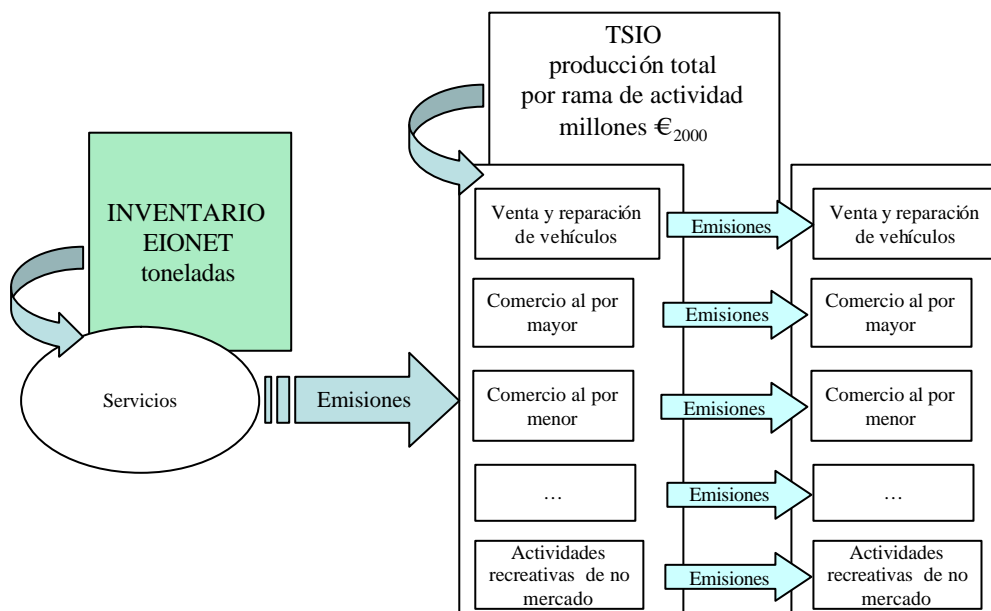
Aunque los datos ofrecidos por el INE tienen un nivel de desagregación elevado, principalmente para las industrias manufactureras, otras actividades, como el sector servicios, no pueden desagregarse utilizando estos datos, habiéndose aplicado otro método de estimación. Este es el caso del dato del inventario sobre Servicios. En primer lugar, se han identificado las ramas de actividad de la TSIO incluidas en Servicios. Para poder desagregar estas emisiones, se ha calculado el porcentaje que representa la producción total de cada rama de actividad incluida respecto al total de los Servicios

que se muestran en la Tabla 8. Estos porcentajes se han utilizado para desagregar el dato de emisiones de Servicios.

**Tabla 8: Participación de cada rama de actividad a la producción total del conjunto Servicios**

	PRODUCCIÓN TOTAL Millones € <sub>2000</sub>	%
Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	22301,7	3,68
Comercio al por mayor e intermediarios	49420,0	8,15
Comercio al por menor; reparación de efectos personales	39955,9	6,59
Alojamiento	12977,8	2,14
Restauración	60296,1	9,94
...	...	...
...	...	...
Actividades recreativas y culturales de no mercado	5343,5	0,88
TOTAL	606282,0	100

Este porcentaje se ha utilizado para desagregar las emisiones del conjunto servicios en las ramas de actividad correspondientes de la TSIO. El esquema del procedimiento se muestra a continuación.



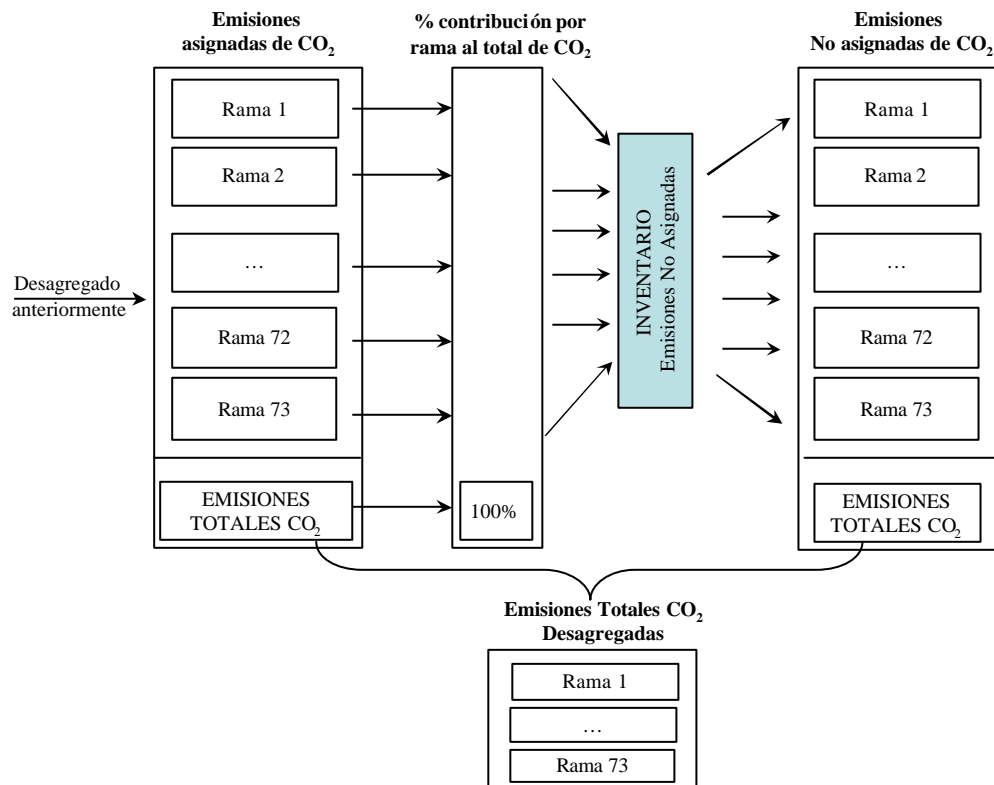
**Figura 10: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones a partir de la producción de cada rama de actividad en la TSIO.**

Fruto de este proceso de desagregación se obtiene una nueva tabla con 73 ramas de actividad.

Sin embargo, en el inventario, parte de las emisiones contabilizadas no han sido asociadas a ninguna categoría o rama de actividad. Estas emisiones deben ser tenidas en cuenta en la elaboración de los vectores ambientales de emisiones, siendo necesaria por lo tanto su desagregación y asignación a las distintas ramas.

Puesto que las emisiones de cada rama de actividad de la TSIO ya se han estimado, se puede calcular el porcentaje que representan las emisiones de cada rama respecto al total y utilizar estos porcentajes para desagregar las emisiones mencionadas anteriormente que no han sido clasificadas.

El procedimiento llevado a cabo para esta desagregación se muestra en el siguiente esquema.



**Figura 11: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones no asignadas.**



Finalmente, para obtener los vectores ambientales de las emisiones, es necesario sumar ambas emisiones. Este resultado, se divide por la producción final en millones €<sub>2000</sub> de cada rama de actividad de la TSIO, obteniéndose así los vectores ambientales de cada emisión.

### **Empleo total equivalente**

Como se ha mencionado anteriormente, con el fin de acometer un análisis de impacto lo más completo posible de un proyecto determinado, es necesario incluir, además de los aspectos ambientales, los aspectos sociales.

En este estudio se ha elegido el empleo como aspecto social a analizar. Los datos utilizados se han obtenido de las Cuentas Económicas en el marco de la Contabilidad Nacional de España, ya que se pueden obtener datos sobre el empleo total por ramas de actividad y los puestos de trabajo equivalentes a tiempo completo. En el presente trabajo, se han utilizado los datos de puestos de trabajo equivalente a tiempo completo, que hacen referencia al número total de horas trabajadas dividido por la media anual de horas trabajadas a tiempo completo. Esta medida sirve para poder calcular la equivalencia de puestos de trabajo de jornada a tiempo parcial a puestos de trabajo de jornada a tiempo completo.

En este caso, los datos publicados por el INE corresponden, casi en su totalidad, con las ramas de actividad de la TSIO. Únicamente, los datos para las ramas *Alojamiento* y *Restauración* han sido desagregados, ya que el dato original del INE está referido al conjunto de la Hostelería. Para esta desagregación se ha utilizado la producción total de cada rama de actividad mencionada.

Al igual que en el caso del consumo de energía o las emisiones, es necesario dividir los datos de empleo total equivalente de cada rama de actividad por la producción total de las mismas para obtener el vector  $R_i$ .

## **5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ANÁLISIS**

En este apartado se presenta las dos tecnologías energéticas avanzadas que han sido utilizadas para el análisis con las metodologías.

### **5.2.1 PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CEBADA**

La introducción de biocombustibles en el sector del transporte es una de las medidas tomadas a cabo por muchos países para paliar los impactos ambientales asociados al uso de combustibles fósiles y alcanzar los objetivos de Kyoto.

Sin embargo, dada la heterogeneidad de los impactos asociados a esta fuente de energía y la controversia generada a su alrededor, es necesario evaluar y cuantificar los efectos de la producción de estos biocombustibles teniendo en cuenta las especificidades de cada caso y región. Para ello, se ha analizado la producción de bioetanol a partir de cebada en una planta de producción española ubicada en Cartagena, Murcia.

El grano utilizado en la planta es cebada nacional y los datos de la producción de cebada han sido suministrados por el Laboratorio de Agroenergética, Botánica y Protección Vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. Estos datos son representativos de Castilla- León, que es la mayor zona de producción de cereal de España.

#### **5.2.1.1 ACV de Bioetanol a partir de Cebada**

El ACV de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se ha realizado siguiendo la metodología descrita en las normas internacionales ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

#### **Objetivo y Alcance**

El objetivo y alcance de este ACV es analizar el sistema de producción de bioetanol a partir de cebada nacional en España.

### **Unidad funcional**

La unidad funcional elegida para el ACV es 1 MJ de bioetanol producido.

El límite geográfico es España y en la medida de lo posible, los datos utilizados se refieren a él.

El horizonte temporal se sitúa en el año 2006, aunque en algunas ocasiones se han utilizado datos referidos al año 2007.

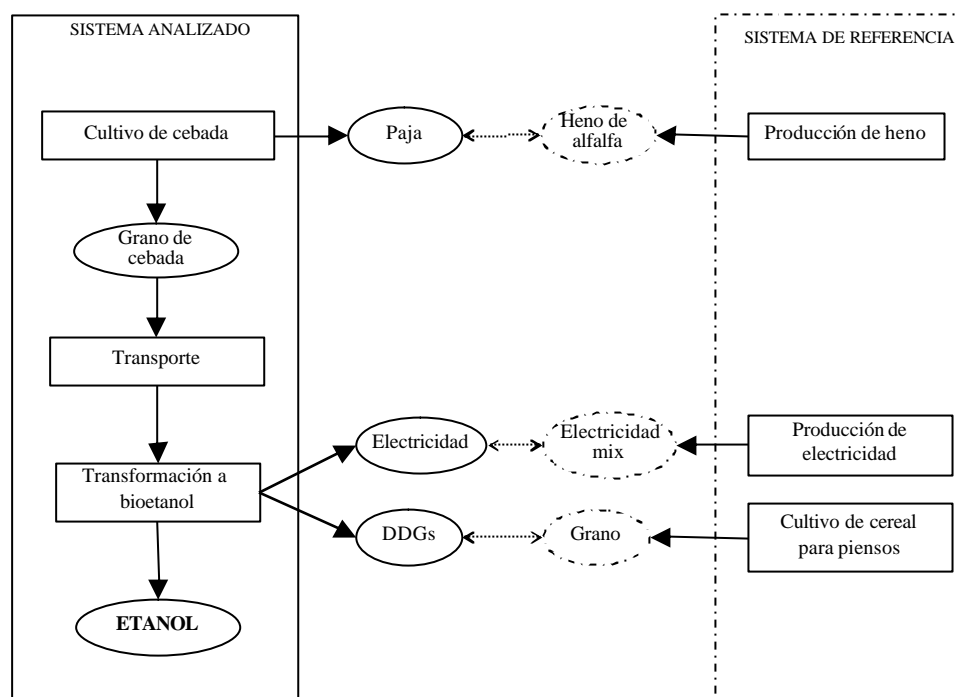
### **Límites del sistema**

Los datos han sido suministrados por empresas involucradas en la producción de bioetanol en España. Sin embargo, es necesario el uso de datos adicionales para la realización del análisis del inventario. En la presente investigación, estos datos se han tomado de la base de datos de Ecoinvent, la más actualizada y completa para la realización de ACV (Ecoinvent, 2007).

Las etapas referidas a la fabricación y mantenimiento de bienes capitales como infraestructuras, maquinaria, equipos y vehículos para el transporte han sido excluidas del análisis, excepto en los casos en los que se hace mención directa al respecto (Sheehan et al., 1998).

### Descripción del sistema de análisis

En la Figura 12, se describen las etapas del ciclo de vida incluidas en el estudio.



**Figura 12: Esquema de los procesos considerados en el sistema analizado.**

En la Figura 12 se observan dos sistemas: el analizado y el de referencia. Los cuadros representan los procesos incluidos en el análisis y los círculos los productos obtenidos. El sistema analizado describe las etapas del ACV de producción de bioetanol a partir de cebada, en el que se incluyen el cultivo de la cebada, el transporte del grano a la planta de transformación y la transformación en la misma para obtener bioetanol. El producto objeto de análisis es el etanol, pero a lo largo de las etapas que componen el ciclo de vida de éste, se obtienen otros productos, siendo necesaria la distribución de las entradas y salidas del sistema entre todos los productos. Siguiendo las recomendaciones de las ISO 14040:2006 y 14044:2006, se ha aplicado la extensión de los límites del sistema para todos los co-productos. En este sentido, el sistema de referencia de la figura muestra los procesos de producción de los productos a los que sustituyen los co-

productos del sistema analizado, con los que se realizará la extensión de los límites del sistema.

- ***Etapa agrícola***

Para la realización del inventario de esta etapa, se han obtenido datos basados en la práctica real del cultivo de cebada en la zona de Castilla-León, ya que la planta de bioetanol analizada se suministra de ella y es además una de las principales zonas productoras de cereal de España.

El inventario se ha realizado en base al sistema de caracterización, las hipótesis y limitaciones para sistemas agrícolas descrito en Ecoinvent (Nemecek and Kägi, 2007), donde se considera a la agricultura como una actividad muy intensiva con respecto al uso del suelo.

Los límites del sistema definidos para la etapa agrícola incluyen el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático, de modo que sólo la fracción de agroquímicos aportados al suelo que alcanzan las aguas subterráneas o superficiales son considerados efluentes.

Por otro lado, aunque pueden existir mejores prácticas agrícolas teóricas de producción de cebada, se consideran las labores y tratamientos habituales de la zona productora, de modo que refleje las condiciones reales de la producción en España.

Por último, se asume que el agua necesaria en la producción agrícola es la resultante de las precipitaciones, por lo que no existen consumos de agua adicionales por riego.

La

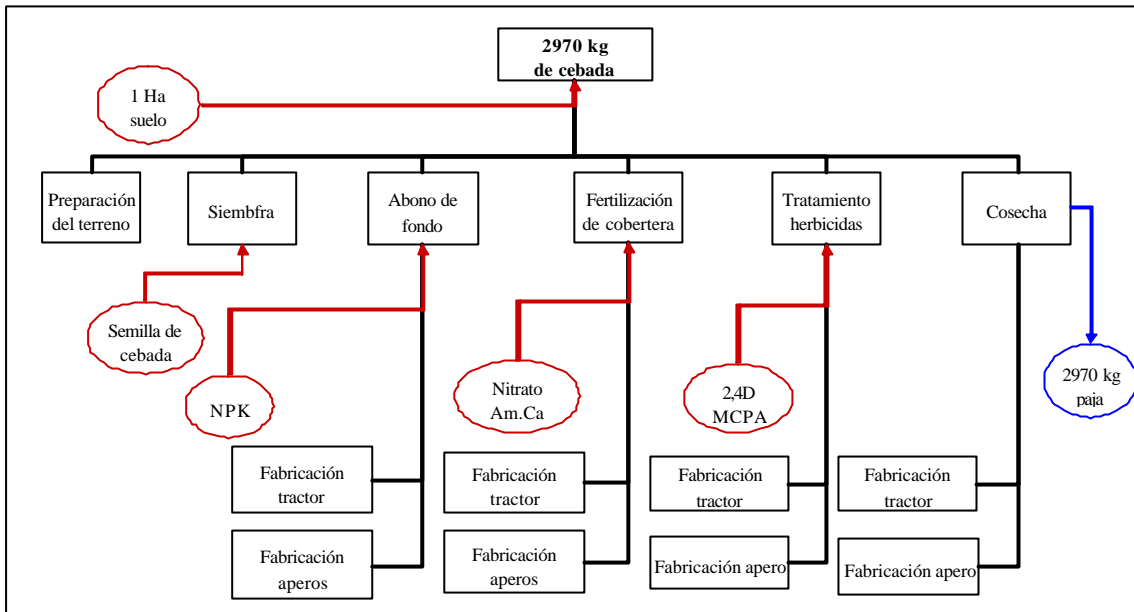
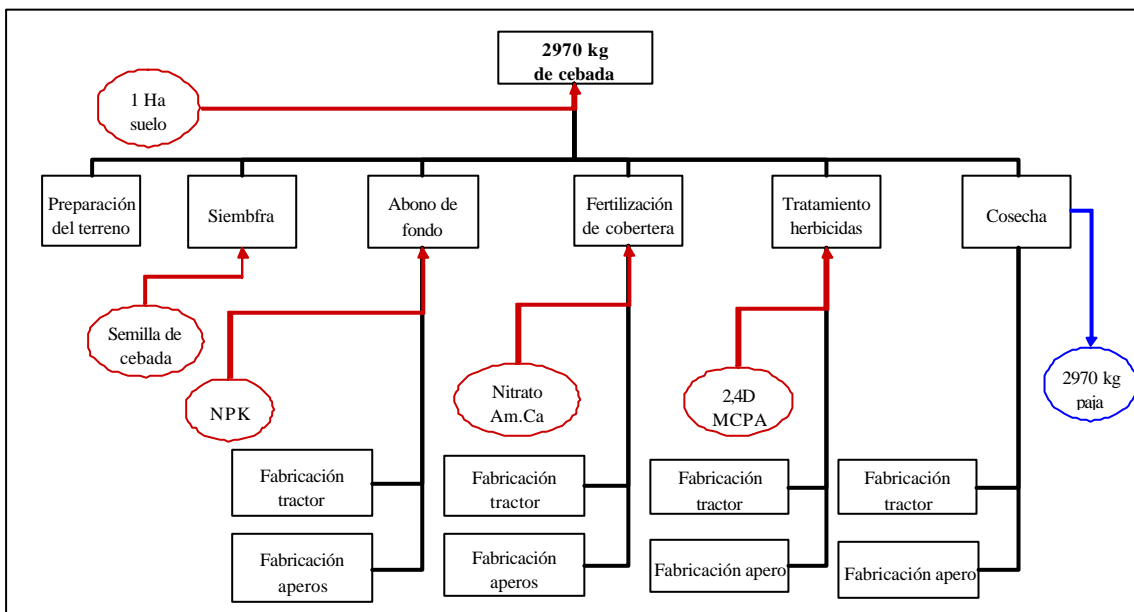


Figura 13 muestra las labores agrícolas que se han tenido en cuenta para el análisis del inventario en la etapa de producción de grano de cebada.



**Figura 13: Esquema de las labores agrícolas consideradas**

A lo largo de la etapa agrícola se utilizan tractores y diferentes aperos, como vertederas, cultivadores, etc., para realizar el laboreo. Una de las principales novedades de Ecoinvent y de su base de datos es que dispone de datos sobre los procesos de fabricación de la maquinaria e infraestructuras agrícolas. A partir de la descripción de la

maquinaria utilizada en el cultivo de cebada nacional (Tabla 9), se incluyen en el inventario los procesos de fabricación de éstas.

**Tabla 9: Descripción de la maquinaria agrícola**

	Características	Peso (kg)
Tractor	90 CV	4147
Arado	vertedera cuatrisurco	1200
Cultivador	13 brazos	1820
Sembradora	sembradora a chorrillo de 25 botas	1020
Grada	24 discos de 26"	1250
Maquinaria para abonados y tratamientos	centrifuga arrastrada	900
Cosechadora	cereal	11000
Remolques		1920

Se ha supuesto que la distancia entre el campo de cultivo y el lugar donde se guarda la maquinaria es 1km. Asimismo se asume que toda la maquinaria utiliza Gasóleo C como combustible.

Se han calculado, para todas las labores realizadas, las siguientes emisiones:

- Emisiones al aire, debidas a la combustión del diesel en la maquinaria utilizada
- Emisiones al suelo de metales pesados debidas a la abrasión de las ruedas de la maquinaria.
- Emisiones al suelo de metales pesados debido a la aplicación del abono de fondo NPK y a la fertilización de cobertera con Nitrato Amónico Cálcico.
- Emisiones al agua como escorrentía y lixiviados de metales pesados debidos a la aplicación del abono de fondo, la fertilización de cobertera y al tratamiento con herbicidas.
- Emisiones al agua como escorrentía y lixiviados de dioxinas debidas a la aplicación del tratamiento de herbicidas.

El crecimiento de la cebada genera una absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico que pasa a formar parte de la planta durante la fotosíntesis. La planta utiliza el carbono fijado para formar

sus estructuras orgánicas en la paja y en el grano de cebada. El grano será transformado en bioetanol y en Dry Digestive Grains (DDGs). Éstos se utilizarán para pienso animal y el carbono que fue fijado por la planta previamente será emitido de nuevo a la atmósfera como CO<sub>2</sub>. Por otro lado, el bioetanol será utilizado como combustible de modo que el carbono, fijado por la planta durante la fotosíntesis, vuelve a ser emitido a la atmósfera al quemar el combustible. En el presente estudio, no se ha contabilizado el CO<sub>2</sub> absorbido por la planta como una fijación de C ya que se ha supuesto que todo él será finalmente emitido a la atmósfera.

Además del grano de cebada, en la etapa agrícola se obtiene otro producto que debe ser considerado: la paja de cereal. Este producto se vende como alimento para el ganado, por lo que tiene un uso fuera del sistema. En este sentido, tal y como lo exigen las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006 y como se ha definido anteriormente, se realiza la extensión de los límites del sistema para este co-producto, de modo que las cargas ambientales correspondientes a la producción de un bien alternativo que proporcione el mismo servicio, puedan calcularse en un sistema de referencia y así restarse del sistema objeto de análisis, obteniendo finalmente las cargas asociadas al grano de cebada. En este caso, el bien alternativo que puede proporcionar el mismo servicio que la paja es el heno de alfalfa, que también se utiliza como alimento para el ganado.

En este sentido, se han tenido las mismas consideraciones en la realización del inventario del sistema de referencia, es decir, de la producción del heno de alfalfa. De este modo, se han calculado las cargas anteriormente mencionadas teniendo en cuenta que 1 kg de heno de alfalfa sustituye 1,47 kg de paja de cebada.

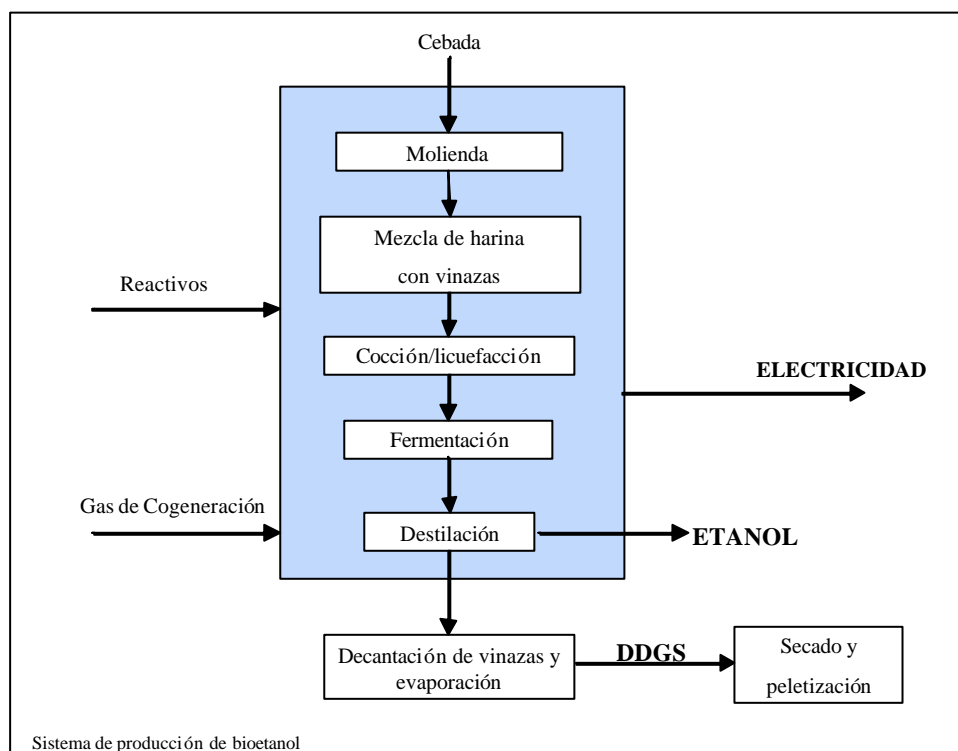
- ***Planta de transformación***



El grano de cebada es transportado desde Castilla-León a la planta en Cartagena en camiones de 16 toneladas de carga. La distancia recorrida con carga es de 300km. Se asume que el viaje de vuelta se realiza sin carga.

La planta produce anualmente 78900 toneladas de bioetanol a partir del almidón de cebada, procesando en continuo 302976 toneladas anuales de grano. Según el informe del Centro de Investigaciones Energéticas de Holanda, se estima que la vida útil de la planta será de 20 años, (Deurwaarder et al., 2007).

La Figura 14 muestra un esquema de las etapas principales de la planta de bioetanol de cebada analizada.



**Figura 14: Esquema explicativo de las principales etapas de la planta de bioetanol.**

Además del grano de cebada, es necesario el uso de otras materias primas, principalmente levaduras y las enzimas.

Las enzimas participan en el proceso de licuefacción, catalizando la hidrólisis de varios enlaces. La hidrólisis del almidón se produce gracias a la enzima alfa-amilasa. Además, para la hidrólisis de las dextrinas en glucosas se utilizan enzimas glucoamilasa y para la hidrólisis del material celulósico se utiliza celulasa. Las cargas ambientales asociadas a la producción y uso de estas enzimas no han podido ser incluidas en el estudio por falta de datos al respecto.

La levadura utilizada en el proceso de fermentación de la cebada es la *Saccharomices cerevisiae* que sí ha sido incluida.

A su vez, se produce como co-producto 120000 toneladas anuales de DDGs. Los DDGS se obtienen tras el proceso de sacarificación, fermentación y destilación. Este co-producto es una fuente de alimentación para el ganado con un alto contenido en proteína. Los DDGs son sometidos a un proceso de secado y peletización que facilita el transporte. Al igual que en la etapa agrícola, siguiendo el procedimiento indicado por las normas ISO, se aplica la extensión de los límites del sistema a los DDGs. El sistema de referencia elegido para este procedimiento es la producción de trigo para pienso animal.

A través de una turbina de gas natural se genera la electricidad necesaria para el funcionamiento de la planta, poniendo a la venta en la red nacional 170,288 GWh anuales de electricidad sobrante. La turbina tiene también como objetivo aportar el vapor necesario para varios procesos de la planta.

Al igual que en el caso de los DDGs y la paja de cebada, la electricidad vendida a la red eléctrica es un co-producto del proceso de producción de bioetanol. Por esta razón, se ha aplicado la extensión de los límites del sistema, utilizando como sistema de referencia la producción de electricidad del mix del año 2006, que se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10: Composición del mix eléctrico de España 2006**

<b>FUENTE</b>	<b>%</b>
Hidráulica	11,84
Nuclear	24,30
Carbón	26,67
Fuel y gas	2,39
Ciclo Combinado	25,66
Eólica	9,14

Finalmente, el bioetanol se almacena y se prepara para su uso final.

### **5.2.1.2 ACV –IO de Bioetanol a partir de Cebada**

El cálculo de las cargas ambientales y socioeconómicas asociadas a la producción de bioetanol a partir de cebada se lleva a cabo mediante la aplicación de la Ecuación 10 (3.3.2), que define la herramienta ACV –IO para España.

Para ello, es necesario conocer cuales son las demandas finales, descritas por y en la ecuación, para cada rama de actividad que intervienen en la producción de bioetanol analizada en este estudio.

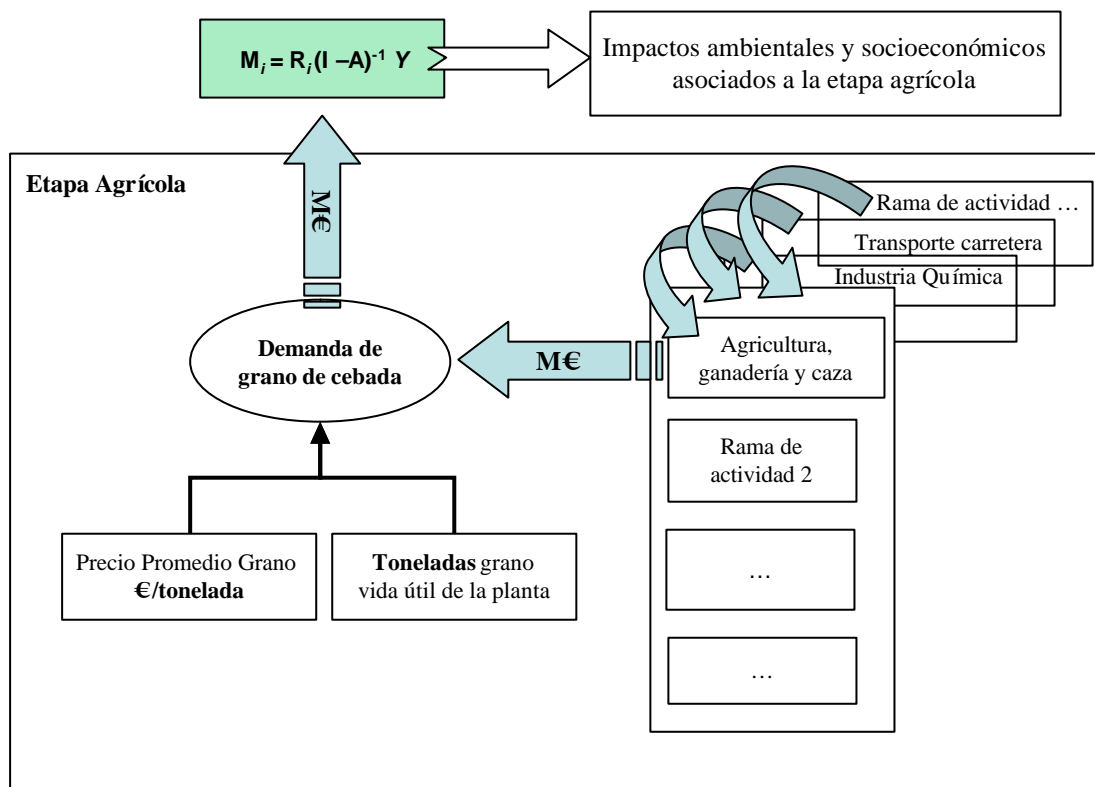
Este análisis se ha dividido en tres etapas principales del ciclo de vida de la producción de bioetanol que se estudian por separado:

- Etapa agrícola
- Construcción de la Infraestructura
- Operación y Mantenimiento

- ***Etapa Agrícola***

El bioetanol obtenido en la planta objeto de análisis se produce a partir de grano de cebada. Mientras que en el ACV anteriormente descrito se consideran todos los procesos agrícolas necesarios para la obtención de la cebada, en el caso del ACV –IO la etapa agrícola está definida por una demanda adicional de grano de cebada, que corresponde a una demanda adicional en la rama de actividad de la *Agricultura, ganadería y caza*.

En la Figura 15 se muestra esquemáticamente el procedimiento seguido para el cálculo de los impactos ambientales y socioeconómicos de la etapa agrícola.



**Figura 15: Esquema del ACV-IO para la etapa Agrícola**

Como se ha explicado anteriormente, la TSIO describe las demandas intermedias de unas ramas de actividad sobre otras. En este caso, el bien que se demanda es el grano de cebada, producido por la rama de actividad de *Agricultura, ganadería y caza*, la cual, como se muestra en la figura anterior, demandará a su vez bienes de otras ramas de actividad. La herramienta ACV -IO permite el cálculo de las cargas ambientales y

socioeconómicas asociadas a toda la etapa agrícola a través de las interrelaciones de todas las ramas de actividad ya descritas en la matriz inversa de Leontief, por lo que los procesos referidos a la producción de agroquímicos para la agricultura, el transporte de los mismos, el uso de la maquinaria y su fabricación entre otros están incluidos indirectamente.

Así pues, para el cálculo de las cargas ambientales y socioeconómicas asociadas a la etapa agrícola, es necesario definir la variable y de la Ecuación 10 (3.3.2), que describe la demanda de grano de cebada para la vida útil de la planta en unidades monetarias. Conociendo la cantidad total de grano de cebada que se demandará en la vida útil de la planta, y el precio de la misma, se podrán estimar las cargas ambientales y socioeconómicas asociadas a esta etapa. Para este propósito, se ha utilizado el precio promedio de la cebada en España para la campaña 2006-2007 que ofrece el Ministerio de Administraciones Públicas (MAPA, 2008). La evolución de los precios de la cebada se muestra en Tabla 11.

**Tabla 11: Evolución de los precios de los principales cereales**

<b>EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE LA CEBADA</b>			
<b>Semanas</b>	<b>P.M.I.</b>	<b>Semanas</b>	<b>P.M.I.</b>
02/07/2006	157,03	07/01/2007	159,17
09/07/2006	157,03	14/01/2007	159,17
16/07/2006	157,03	21/01/2007	159,17
23/07/2006	157,03	28/01/2007	159,17
30/07/2006	157,03	04/02/2007	159,88
06/08/2006	157,03	11/02/2007	159,88
13/08/2006	157,03	18/02/2007	159,88
20/08/2006	157,03	25/02/2007	159,88
27/08/2006	157,03	04/03/2007	160,59
03/09/2006	157,03	11/03/2007	160,59
10/09/2006	157,03	18/03/2007	160,59
17/09/2006	157,03	25/03/2007	160,59
24/09/2006	157,03	01/04/2007	161,31
01/10/2006	157,03	08/04/2007	161,31
08/10/2006	157,03	15/04/2007	161,31
15/10/2006	157,03	22/04/2007	161,31
22/10/2006	157,03	29/04/2007	161,31
29/10/2006	157,03	06/05/2007	162,02

05/11/2006	157,74	13/05/2007	162,02
12/11/2006	157,74	20/05/2007	162,02
19/11/2006	157,74	27/05/2007	162,02
26/11/2006	157,74	03/06/2007	162,02
03/12/2006	158,46	10/06/2007	162,02
10/12/2006	158,46	17/06/2007	162,02
17/12/2006	158,46	24/06/2007	162,02
24/12/2006	158,46	01/07/2007	162,02
31/12/2006	159,17		

P.M.I. Precio Mercado de Intervención

- **Construcción de la Infraestructura**

La posibilidad de calcular las cargas ambientales y socioeconómicas asociadas a la maquinaria e infraestructura de la planta de producción de bioetanol es una de las novedades consideradas en la herramienta ACV-IO respecto al ACV de procesos.

Al igual que en la etapa agrícola, es necesario conocer cuáles son los bienes y servicios demandados durante esta etapa, que definirán la variable y en la Ecuación 10. Esta demanda se estima a partir de una amplia descripción del proyecto de la planta y los equipos que tendrá así como de la construcción de la misma. Sin embargo, los datos iniciales de la planta no incluyen este nivel de detalle.

Larsson (Larsson, 2006) realizó un Análisis Coste Beneficio de una planta de producción de bioetanol a partir de cereal en Suecia, en el que hay una descripción detallada de los costes de los equipos de la planta, de la construcción de los edificios de la planta y de los materiales necesarios para su operación y mantenimientos.

Los principales parámetros de la planta sueca se muestran Tabla 12 junto con los parámetros de la planta analizada en este trabajo.

**Tabla 12: Características principales de dos plantas**

	Planta Suecia	Planta de España
Producción de etanol t/año	174680	78900
Producción de DDGS t/año	180000	120000
Uso de cereal t/año	590000	302976

Ratio cereal/bioetanol	3,38	3,84
------------------------	------	------

Se puede observar que la capacidad de producción de la planta de España representa aproximadamente el 45% de la capacidad de la planta sueca, aunque el ratio de uso de cereal por producción de bioetanol es similar.

Para la realización del ACV –IO de la etapa de Construcción de Infraestructuras se han utilizado los datos descritos en Larsson, considerando que la planta de España es el 45% de la planta sueca. En la Tabla 13 se muestran los costes de los equipos, los edificios y otros costes como los seguros para ambas plantas.

**Tabla 13: Costes fijos de ambas plantas**

€ <sub>2006</sub>	Planta Suecia	Planta de España
Equipos	121776848	55004541,5
Edificios	33003152	14906965,3
Seguros y otros	4822549,57	19984073,7

Los equipos instalados en la planta de producción de etanol son los siguientes:

- Silo
- Molino
- Tanque de licuefacción
- Tanque de sacarificación
- Fermentador
- Separador de CO<sub>2</sub>
- Columna de destilación
- Centrifugadora
- Secador de DDGs
- Evaporador

Se asume que la mayor parte del material con el que están fabricados es acero y otros metales, por lo que los equipos que se utilizarán en la planta de bioetanol generan una demanda adicional de la rama de actividad *Fabricación de productos metálicos* equivalente al coste descrito en la tabla anterior.

Con respecto a las demandas adicionales generadas por los edificios, a partir de Larsson se estima el coste de los edificios necesarios en la planta de bioetanol. Los materiales que componen éstos definen las ramas de actividad a las que se vinculan las demandas de estos bienes.

Aunque no se cuenta con una descripción detallada de los componentes de los edificios de la planta, se ha utilizado la descripción del edificio de la planta solar que será analizada en el siguiente caso de estudio para estimar los componentes del edificio de la planta de bioetanol.

Los datos para el estudio de la planta solar contienen una descripción de las características del edificio, incluyendo los materiales y las cantidades utilizadas. Se han calculado los costes de los materiales utilizados en este edificio utilizando 3 bases de datos de precios de la construcción: (i) precios de la construcción centro (COAATGU, 2007), (ii) precios y pliegos de condiciones técnicas (Construmática, 2007) y (iii) base de datos del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITEC, 2007). Una vez que el coste de cada material se ha calculado, se han obtenido los porcentajes que representa cada material sobre el precio del edificio de la planta solar. Estos porcentajes se han aplicado al coste total estimado a partir de Larsson para el edificio de la planta de bioetanol y se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14: Materiales del edificio utilizado para el cálculo**

Edificio	Cantidad	Unidad	Descripción en bases de datos	Precio €/unidad	Coste Total	% sobre el coste total
Hormigón	3956,67	m3	hormigón en masa HA-25/P/40/1	113,28	m3 448211,58	38,81
Acero	450	t	Acero en barras corrugadas B 500 S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> , para el armado de zanjás y pozos	1,25	kg 562500	48,70
Grava	1825	t	Relleno de zanja o pozo con gravas para drenaje, en tongadas de 25 cm como máximo	42,33	m3 45,4425	0,00
Cemento	86	t	cemento CEM 11/B-P 32,5 N sacos	102,87	t 8846,82	0,77
Madera	8000	kg	Tabla de madera de pino machihembrada de 22 mm de espesor 4,40 kg/m <sup>2</sup>	8,6	m2 15636,36	1,35
Arena	258	t	Arena de cantera de piedra granítica, de 0 a 3,5 mm	19,25	t 4966,5	0,43
Vidrio	1,7	t	doble acristalamiento tipo isolar glas, 2 lunas float incoloras de 4mm y cámara de aire 6	39,2	m2 26656	2,31



		mm					
Cerámicas y sanitarios	200	t	Pavimento de terrazo liso de grano pequeño, de 40x40 cm, precio alto, colocado a pique de maceta con mortero de cemento 1:6, para uso interior intenso, incluido rebajado, pulido y abrigantado	31,64	m2	79100	6,85
	50	t	Baldosa de gres porcelánico prensado antideslizante sin esmaltar de forma rectangular, de 76 a 115 piezas/m2, precio alto	15,54	m2	8972,29	0,78

A partir del coste del edificio estimado de Larsson en la Tabla 13 y de los porcentajes para cada material de la Tabla 14, se obtienen las demandas adicionales para los componentes del edificio, asociadas a diferentes ramas de actividad, como *Industria de la madera y el corcho, Fabricación de cemento, cal y yeso, Industria de la cerámica*, entre otros.

En esta etapa también se han considerado los costes de los seguros necesarios para la ejecución de la construcción.

El cálculo de las cargas ambientales y socioeconómicas asociadas al conjunto de las demandas adicionales debidas a la infraestructura y los equipos de la planta es posible gracias a la definición de la variable y de la Ecuación 10, como un vector que engloba todas estas demandas.

- **Operación y Mantenimiento**

Las demandas asociadas a la operación y mantenimiento de la planta de bioetanol se calculan para 20 años de vida útil y se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15: Materiales para la Operación y Mantenimiento de la Planta**

ENTRADAS	Anual
Gas Natural (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> N)	55
Agua (m <sup>3</sup> )	400000
Productos químicos (€)	1380737,98

Mantenimiento de equipos y edificios	6% del coste del equipo y edificios
---	--

---

El gas natural es un bien demandado de la rama de actividad *Producción y distribución de gas*. El valor económico del consumo anual de gas natural de la planta de bioetanol se obtiene a partir del precio publicado en el Boletín Estadístico de Hidrocarburos de 2006 para actividades industriales (CORES, 2006).

Para calcular el valor económico del agua utilizada en la planta, se ha tomado el valor unitario medio para España del año 2006 publicado en la Encuesta sobre tratamiento y suministro del agua (INE, 2008). El agua es un bien demandado de la rama de actividad *Captación, depuración y distribución de agua*.

Los productos químicos necesarios para el buen funcionamiento de la planta son las levaduras y las enzimas. El valor económico de estos bienes se ha estimado a partir del valor ofrecido por Larsson para la planta de bioetanol de Suecia. Los productos químicos son bienes demandados de la rama de actividad *Industria Química*.

Por último, en base a lo expuesto por Larsson, se ha supuesto que el coste anual para el mantenimiento de los equipos y las instalaciones alcanza el 6% del coste total del conjunto de los equipos e instalaciones. Los bienes demandados para los equipos y las instalaciones se han calculado en la etapa anterior así como su valor económico. Por lo tanto, se utilizarán las mismas ramas de actividad para cada bien y el 6% del valor económico ya calculado.

Es necesario destacar que todos los valores económicos referidos a años distintos de 2000, han sido actualizados a este año, ya que la herramienta ACV –IO está diseñada para este horizonte temporal. Con este fin, se ha utilizado la variación del Índice de Precios al Consumo publicado por el INE en su página web. Esta variación ha alcanzado el 22,5% del año 2000 a 2006 y el 24,6% del año 2000 a 2007.

### **Extensión de los límites del sistema en el ACV –IO**

Del mismo modo que al realizar el ACV de procesos, es necesario considerar la existencia de co-productos al llevar a cabo el ACV –IO.

Utilizando la herramienta ACV –IO para la producción de bioetanol a partir de la cebada, se identifican dos co-productos, la electricidad que se vende a la red eléctrica nacional y los DDGs, alimento proteico para el ganado.

Es preciso destacar que, en el caso del ACV –IO no se considera la producción de paja como un co-producto. En este análisis se distinguen dos tipos de bienes: los demandados por el proyecto estudiado y los producidos por el proyecto. Los bienes demandados se consideran entradas al sistema analizado, mientras que los bienes producidos se consideran salidas del sistema.

En el caso de la planta de bioetanol se pueden distinguir perfectamente estos dos tipos de bienes. Por un lado, la planta demanda grano de cebada para su producción, siendo éste un bien que entra al sistema analizado, mientras que produce bioetanol, electricidad y DDGS, como bienes producidos entre los que es necesario asignar las cargas ambientales y socioeconómicas correspondientes.

Tal y como recomiendan las normas ISO, se debe proceder a la extensión de los límites del sistema.

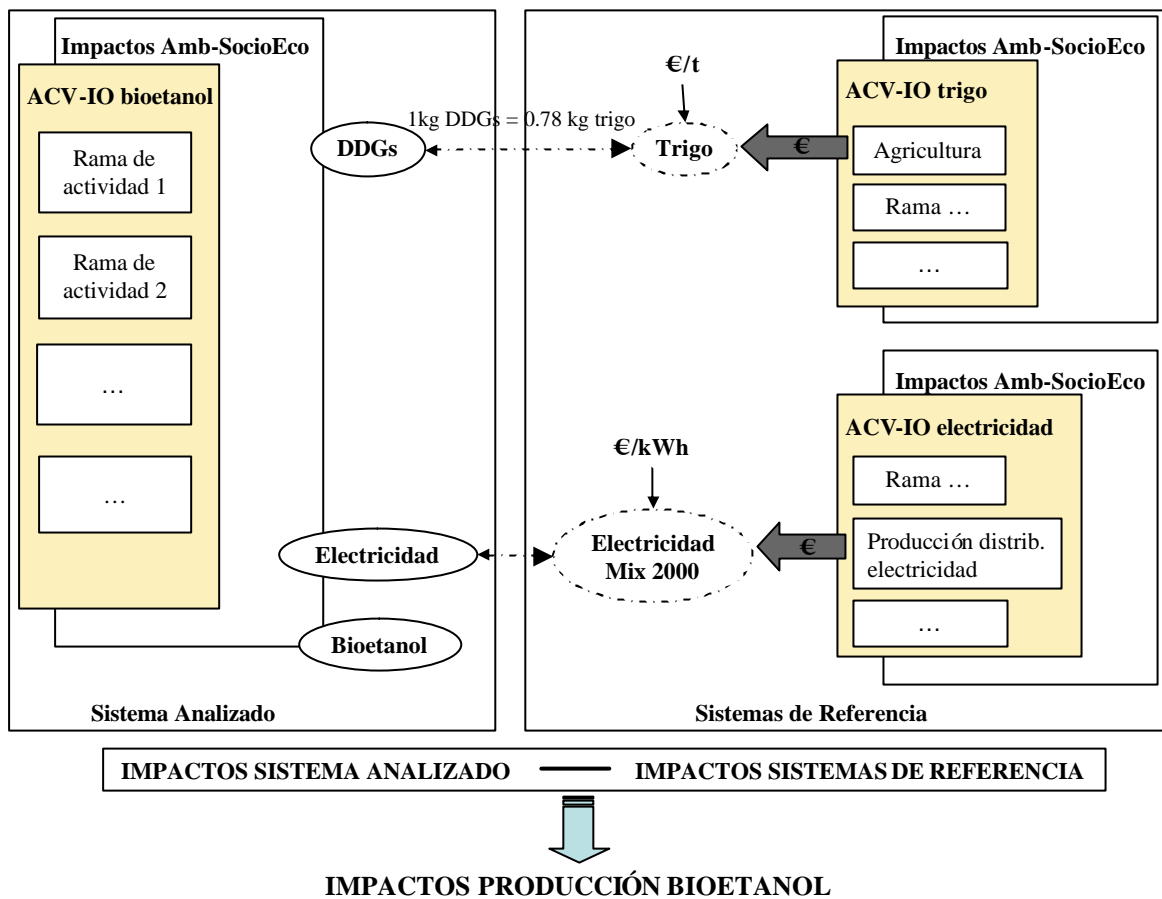
El sistema de referencia para la extensión de los límites del sistema en el caso de los DDGs es la producción de trigo para pienso animal. Teniendo en cuenta que 1 kg de DDGs sustituye a 0,78 kg de trigo para pienso animal, se calcula la cantidad de trigo que se evita producir en la vida útil de la planta y su valor monetario a través del precio. Este valor monetario se asocia a un cambio en la demanda del trigo, que corresponde a la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza*, y se calculan los impactos a través

del ACV –IO de esta demanda. Los resultados obtenidos son, por lo tanto, los impactos evitados por la producción de DDGs.

El procedimiento es similar en el caso de la electricidad generada en la planta, que evita la producción de la electricidad del mix nacional. En el sistema de referencia se ha tomado el precio de la electricidad del mix de España para el año 2006. La demanda de electricidad evitada corresponde a la rama de actividad *Producción y distribución de electricidad*.

Una vez se conocen los impactos evitados de los dos coproductos, se sustraen de los impactos totales calculados para el sistema de referencia de modo que se obtienen los impactos debidos exclusivamente a la producción de bioetanol.

La Figura 16 muestra un esquema explicativo del procedimiento seguido para la extensión de los límites del sistema.



**Figura 16: Esquema explicativo de la extensión de los límites del sistema**

Los impactos del caso analizado han sido calculados para la vida útil de la planta, aunque se presentarán vinculados a la unidad funcional a través de la producción total de bioetanol en MJ en la vida útil de la planta.

## 5.2.2 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN UNA PLANTA

### TERMOSOLAR

La energía solar se ha convertido en los últimos años en una fuente energética con grandes posibilidades de formar parte de la futura composición de la oferta energética mundial, aún más importante en países como España, con un alto potencial de recursos solares. El desarrollo tecnológico de la producción de electricidad en plantas

termosolares está ya en la etapa de comercialización, sin embargo, sigue tratándose de una tecnología energética emergente, por lo que es importante conocer sus efectos medioambientales y socioeconómicos.

El segundo caso de estudio que se presenta es la producción de electricidad en una planta termosolar de 50 MW, con tecnología de cilindros parabólicos, situada en el sur de España.

**Tabla 16: Principales características de la planta**

	<b>Planta colectores cilindro-parabólicos</b>
Capacidad instalada	49,9 MW
Nº de receptores	624
Horas de utilización anual	3820
Años de vida útil	25
Energía anual generada	190618 MWh
Energía anual vendida	187581 MWh
Capacidad de almacenamiento	7,5 horas
Medio de almacenamiento	Sales fundidas (NaNO <sub>3</sub> , KNO <sub>3</sub> 60:40)
Área ocupada	200 ha
Consumo de agua anual	870000 m <sup>3</sup>
Consumo anual de gas natural anual	97691 MWh
Consumo anual de electricidad de la red	16338 MWh

La planta, situada en el sur de España, tiene una potencia instalada de 50MW y ocupa un área de 200 ha. La generación de electricidad en la planta se apoya con la entrada de gas natural.

Los principales componentes de la planta son el campo solar, el bloque de potencia, el sistema de almacenamiento y los edificios.

Según la información suministrada, se estima una vida útil de 25 años y una operación anual de 3820 horas. Igualmente se asume un porcentaje de reposición anual para los componentes de los colectores cilindro-parabólicos de 0,5% y de 4% en el caso del aceite térmico.

### **5.2.2.1 ACV de la Producción de Electricidad en una Planta Termosolar**

#### **Objetivo y Alcance**

El objetivo y alcance de este caso es analizar el sistema de producción de electricidad en una planta termosolar de receptores cilindro-parabólicos en España.

#### **Unidad funcional**

La unidad funcional elegida para este análisis es 1 kWh de electricidad suministrada a la red nacional.

#### **Límites del sistema**

Nuevamente el límite geográfico es el ámbito nacional y en la medida de lo posible, se utilizarán datos nacionales.

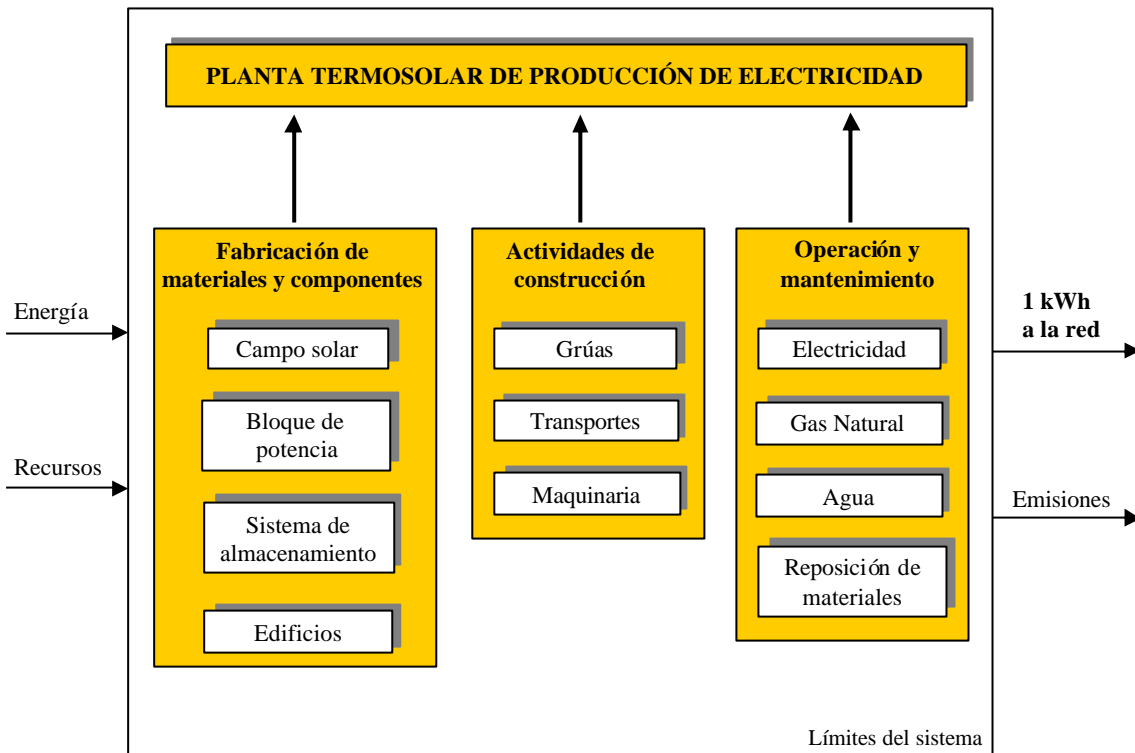
El horizonte temporal se sitúa en el año 2006 aunque ha sido necesario el uso de algunos datos referidos al año 2007.

Los datos necesarios para la realización de este análisis han sido suministrados principalmente por empresas nacionales relacionadas con el sector de producción eléctrica en plantas termosolares. Asimismo se han tomado datos de bibliografía y de la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent, 2007).

De igual modo que en el primer caso de estudio, las etapas referidas a la fabricación y mantenimiento de bienes capitales utilizados en las distintas etapas del análisis, como infraestructuras, maquinaria para la construcción, equipos y vehículos para el transporte, han sido excluidas del análisis.

#### **Descripción del sistema de análisis**

Las etapas que se han considerado para el ACV de este sistema se muestran en la Figura 17.



**Figura 17: Esquema de los procesos considerados en el sistema analizado**

En la figura anterior se pueden observar tres etapas principales en el ACV de la planta termosolar:

- Planta solar: fabricación de materiales y componentes de la planta termosolar
- Construcción
- Operación y mantenimiento
- 
- **Planta solar**

Esta etapa describe las entradas y salidas al sistema asociadas a la fabricación de los componentes y materiales que forman cada una de las partes de la planta termosolar, teniendo en cuenta cada elemento del campo solar, del bloque de potencia, del sistema de almacenamiento y de los edificios.



El campo solar consta de 624 colectores cilindro-parabólicos, compuestos de vidrio, plata, pintura de cobre y epoxi, sujetos a una estructura metálica con cimentación. Los colectores cuentan con un sistema de seguimiento solar. Asimismo, todos los colectores contienen un tubo absorbedor por el que circula aceite térmico como fluido transmisor del calor.

El bloque de potencia está formado por un generador de vapor, una turbina de vapor, una torre de refrigeración, un condensador y precalentadores y tuberías.

El sistema de almacenamiento está formado por dos tanques de acero que contienen sales fundidas de nitrato de sodio y nitrato de potasio en proporciones 60:40, que permiten almacenar la energía durante 7,5 horas.

Los equipos instalados para el funcionamiento de la planta se encuentran ubicados en distintos edificios.

La falta de datos para algunos componentes importantes de la planta ha hecho necesario el uso de datos bibliográficos y la definición de los siguientes supuestos:

- El peso del acero del generador de vapor y de la turbina de vapor se desconocen, por lo que se han utilizado datos de la bibliografía (Viebahn, 2006).
- Las características de la caldera de gas de la planta no han sido proporcionada, por lo que los procesos de fabricación de la misma se han excluido del análisis.
- Los consumos de energía y materias primas así como las emisiones del proceso de fabricación del nitrato de sodio se desconocen, por lo que se ha considerado que el proceso es similar a la producción del nitrato de potasio.

Por otro lado, se conocen los porcentajes de importación de los distintos elementos de la planta termosolar, así como el país de origen, Alemania. En este sentido, se asume que los procesos de producción de estos elementos en Alemania son similares a los procesos

de producción de los mismos en el ámbito nacional, por lo que se han considerado iguales. No obstante, se han tenido en cuenta los consumos energéticos y emisiones debidas al transporte de los elementos importados desde Alemania a la planta termosolar. Estos transportes se han incluido dentro de la etapa de construcción de la planta.

- ***Construcción***

La segunda fase describe el proceso de construcción de la planta, teniendo en cuenta las horas de utilización de maquinaria y los transportes de los materiales y componentes. Siguiendo el criterio de la etapa anterior, los procesos de fabricación de la maquinaria, vehículos de transporte e infraestructuras utilizadas en la construcción no se han tenido en cuenta en este análisis.

Para contabilizar los consumos energéticos y emisiones debidos a la maquinaria utilizada en la construcción, se han considerado las horas de trabajo de cada máquina y su consumo de combustible.

En esta etapa se incluyen los transportes anteriormente descritos debido a los elementos importados así como los transportes de los materiales nacionales. La distancia máxima de transporte de materiales domésticos es de 500 km. mientras que la mínima son 4 km.

- ***Operación y Mantenimiento***

Los consumos durante la operación y mantenimiento de la planta se muestran en la Tabla 16.

Como se mencionó anteriormente, la planta está formada por el campo solar, el bloque de potencia, el sistema de almacenamiento y los edificios.

El aceite térmico, que recorre el tubo absorbedor, alcanza altas temperaturas a través de los rayos solares concentrados por los colectores cilindro-parabólicos. Tras recorrer el campo solar entra en el bloque de potencia, donde pasa por varios intercambiadores, produciendo vapor de agua. Una vez intercambiada la energía con el agua, el aceite térmico sale frío y entra nuevamente en el campo solar.

El vapor que se ha generado pasa a la turbina donde se expande accionando el generador. Cuando el vapor sale de la turbina, se extrae el calor residual y se enfría en la torre de refrigeración.

A lo largo del día, cuando la insolación es mayor, el sistema de almacenamiento se carga de energía mientras la planta produce electricidad. Cuando se pone el sol, el sistema de almacenamiento cede el calor al aceite térmico manteniéndose así la operación de la planta a plena carga durante 7,5 horas.

La función de la caldera de gas instalada en la planta es evitar la solidificación de las sales de almacenamiento así como del aceite térmico durante las horas en las que no se genera electricidad. Asimismo, sirve de combustible de apoyo para la generación de electricidad en los momentos en los que hay un descenso de la radiación solar, haciendo así que la planta entre en la categoría de instalaciones programables.

Además de los consumos en la operación, el mantenimiento de la planta debe considerar la restitución de los elementos del campo solar que puedan dañarse con el tiempo. La restitución anual de los componentes de los colectores cilindro-parabólicos es de un 0,1%, salvo el aceite térmico que se restituye un 4%.

Por lo tanto, los consumos de la planta durante la operación y el mantenimiento son los materiales de los colectores, el aceite térmico, el gas natural y la electricidad, que se ha definido como el mix eléctrico nacional del año 2006 y se muestran en la Tabla 10.

Puesto que la planta tiene como único producto la electricidad, no es necesario la definición y aplicación de la extensión de los límites del sistema o de otras reglas de asignación para co-productos.

### **5.2.2.2 ACV –IO DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN UNA PLANTA TERMOSOLAR**

De igual modo que para la producción de bioetanol, se ha aplicado la Ecuación 10 para el cálculo de las cargas ambientales y socioeconómicas debidas a la producción de electricidad en la planta termosolar analizada.

En este sentido, se han de calcular las demandas finales para cada rama de actividad que interviene en la producción de electricidad en la planta termosolar.

Para una mejor comprensión del proceso y de los posteriores resultados se divide el análisis en los siguientes componentes:

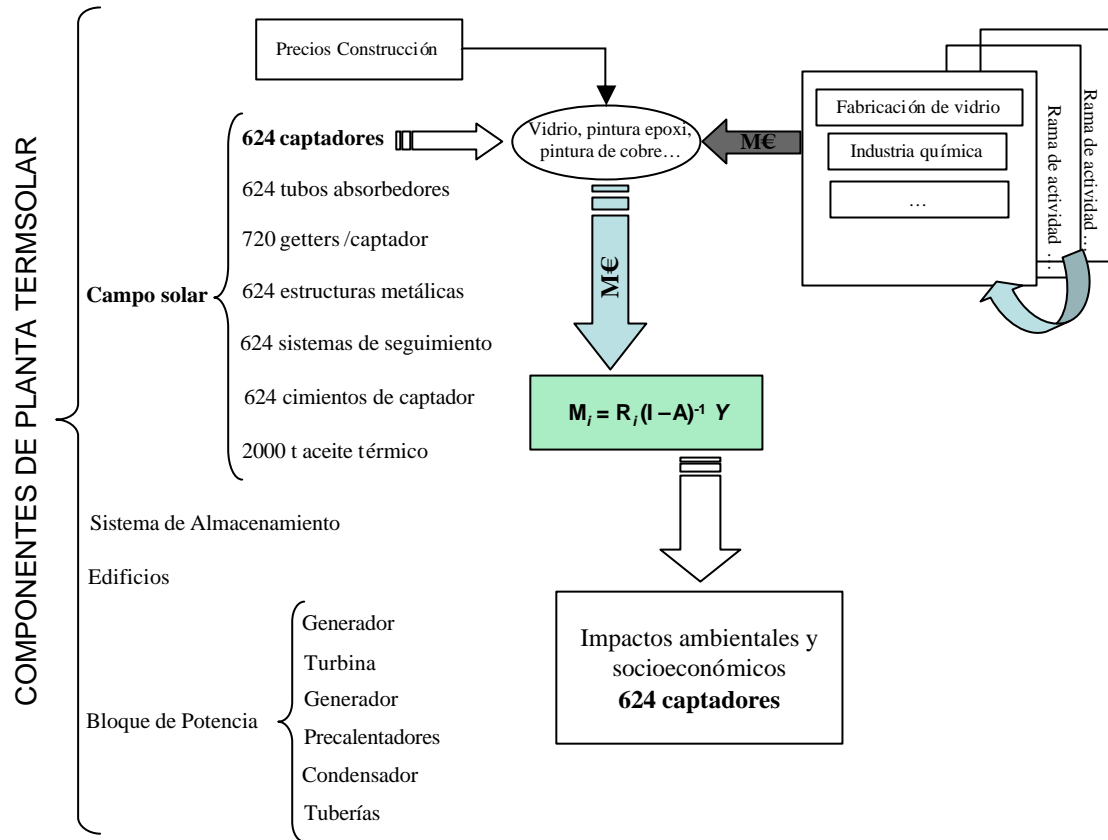
- Planta solar
- Construcción de la planta
- Operación y mantenimiento
- *Planta Solar*

La planta solar se compone de los siguientes elementos: campo solar, bloque de potencia, sistema de almacenamiento y edificios.

Los datos suministrados por las empresas relacionadas con este campo detallan ampliamente cada uno de estos elementos, los materiales de los que están compuestos así como las cantidades utilizadas de cada uno de ellos.

Se han utilizado varias bases de datos del sector de la construcción para calcular el valor monetario de los materiales utilizados en la planta termosolar (COAATGU, 2007; Construmática, 2007; ITEC, 2007).

En la Figura 18 se muestran los elementos que componen la planta. En este esquema se describe el procedimiento seguido para la aplicación de la herramienta ACV –IO a los captadores cilindro-parabólicos.



**Figura 18: Componentes de la planta termosolar y ejemplo del ACV-IO para captadores**

La planta cuenta con 624 captadores. Los principales materiales de los que se compone un captador son vidrio con plata, pintura epoxi y cobre.

En la Tabla 17 se muestra la correlación entre los materiales de un captador, la rama de actividad a la que se demanda su producción y su valor económico a través de los precios unitarios.

**Tabla 17: Cantidades y ramas de actividad demandas para un captador**

Componente	Precio Unitario en las bases de la construcción €/ m <sup>2</sup>	Rama De Actividad Demandada y cantidad €
------------	---	--

<b>CAPTADOR</b>	Vidrio plano plateado, de 893,93 m <sup>2</sup> de superficie	98351,28	kg	Espejo miralite plateado por su cara posterior	39,14	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	34988,34
	Cobre (pintura)	17,67	kg	Pintado de viga de un sólo perfil de acero con pintura cobre, con dos capas de imprimación epoxi y dos de acabado	19,33	Industria química	1339,46
	Pintura epoxi	86,63	kg	Pintado de pilar de un sólo perfil de acero con pintura epoxi, con dos capas de imprimación epoxi y dos de acabado	17,85	Industria química	6063,75

El valor económico de cada material de los captadores define la demanda y de cada rama de actividad. Los impactos medioambientales y socioeconómicos se obtienen introduciendo estos valores de demanda y en la Ecuación 10.

Este procedimiento se utiliza para obtener los impactos asociados a la demanda del resto de componentes de la planta.

- **Construcción de la planta**

Al igual que en el ACV de procesos, en la etapa de construcción de la planta se consideran las horas de utilización de maquinaria así como el transporte de los materiales y componentes. También se tienen en cuenta los transportes utilizados para los materiales importados de otros países.

**Tabla 18: Maquinaria de construcción y precios unitarios**

Maquinaria	Horas de uso	Precio unitario €/h
Moto de trailla	4000	132,87
Retroexcavadora	2500	67,07
Motoniveladora	2000	57,83
Compactador	2000	63,55
Pala cargadora cadenas	1000	54,5

Camión dumper	6000	40,12
Grúa torre	2300	1190 €/mes
Grúa automóvil	9000	47,1

Para el cálculo de los costes de transporte se han utilizado varias fuentes. Los costes del transporte de mercancías por carretera se han obtenido del simulador ACOTRAM, desarrollado por el Ministerio de Fomento (M<sup>o</sup>Fomento, 2008), el coste del transporte por ferrocarril se ha tomado de un estudio de la Asociación de Empresas Europeas de Ferrocarriles e Infraestructuras (CER and EIOM, 2008) mientras que el coste del transporte marítimo se ha obtenido del simulador de la Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia (Shortsea, 2007). Todos ellos se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19: Coste del transporte de mercancías**

Medio utilizado	Costes €/tkm
Camión articulado 40t	0,032
Camión cisterna 28 t	0,05
Tren con carga de 3000 t en Alemania	8,40E-04
Buque	3,20E-06

La aplicación de la herramienta ACV –IO permite contabilizar los procesos de fabricación de toda la maquinaria utilizada, vehículos de transporte e infraestructuras, a través de las interrelaciones entre ramas de actividad, excluidos anteriormente en el ACV de procesos.

- *Operación de la planta*

En la Tabla 16 se pueden observar de nuevo los consumos durante la operación y el mantenimiento de la planta.

Se contabilizan los consumos debidos a los 25 años de vida útil de la planta. Los costes de los materiales que deben ser restituidos anualmente, como el aceite térmico o los espejos de los captadores, son los mismos que se han utilizado en la etapa de fabricación de los componentes de la planta (COAATGU, 2007; Construmática, 2007; ITEC, 2007).

Además de los materiales de reposición, se calculan las demandas que suponen el consumo de electricidad, gas natural y agua. Estas demandas pertenecen a las ramas de actividad *Producción y distribución de energía eléctrica*, *Producción y distribución de gas* y *Captación, depuración y distribución de agua*.

El precio de la electricidad se ha obtenido de la memoria que el Operador del Mercado Eléctrico de España, OMEL, realiza anualmente (OMEL, 2007).

Los precios del gas natural se han tomado de los publicados por Eurostat para el año 2006.

Por último, el valor económico del agua se ha tomado de la Encuesta sobre tratamiento y suministro del agua del año 2006 (INE, 2008).

Una vez conocidas todas las demandas para cada rama de actividad a lo largo de vida de la planta termosolar, todos los valores económicos referidos a años distintos de 2000, han sido actualizados a este horizonte temporal. Para ello, se han utilizado la variación del IPC desde el año 2000 a 2006 y 2007, ya mostrados en apartados anteriores.

Los costes totales considerados para la vida útil de la planta termosolar cilindro-parabólica se muestran en la Tabla 20. Asimismo, se muestran los costes considerados



en el estudio de Caldés (Caldés, et al., 2009), que analiza los impactos económicos del incremento de la capacidad instalada de plantas termosolares en España. Caldés considera una vida útil de 30 años para la planta termosolar analizada y los costes se han estimado considerando una tasa de descuento del 8%, estimando además una financiación del proyecto de 12 años con una tasa de interés del 7%. Además de estas diferencias, los costes considerados en esta tesis se han estimado a partir de costes de producción principalmente sin tener en cuenta márgenes de beneficio para las actividades incluidas

**Tabla 20: Coste total de una planta termosolar cilindro-parabólica**

	Costes considerados (k€ <sub>2006</sub> )	
	Caldés et al., 2009	Estudio presente
Componentes de la planta y construcción	60,06	108,16
Operación y Mantenimiento	265,84	199,81
<b>TOTAL</b>	<b>325,90</b>	<b>307,97</b>



## **6 RESULTADOS**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en esta tesis. En primer lugar se muestra la herramienta desarrollada en este trabajo doctoral.

A continuación se presentan los resultados estimados al aplicar la herramienta desarrollada en esta tesis doctoral (ACV –IO) a cada caso de estudio, comparados con los resultados obtenidos aplicando el ACV de procesos.

Los casos de estudio son, como se ha visto, los siguientes:

- Producción de bioetanol a partir de cebada
- Producción de electricidad en la planta termosolar

### **6.1 DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA ACV –IO PARA ESPAÑA**

El principal resultado de esta tesis doctoral es el desarrollo de la **herramienta ACV – IO para España**.

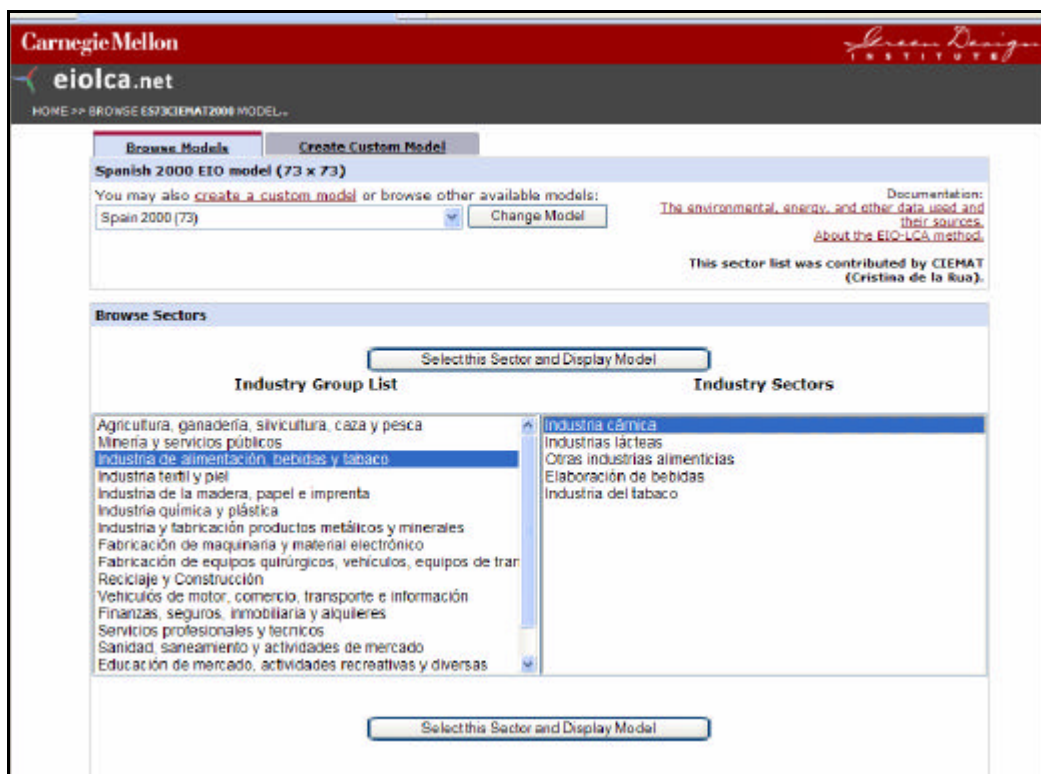
Esta herramienta se ha estimado los impactos ambientales y socioeconómicos directos e indirectos asociados a un cambio en la demanda de un bien o servicio de manera rápida y poco costosa, siendo por lo tanto de gran utilidad para analizar futuros proyectos, estrategias de planificación y políticas, entre otros.

Para la aplicación de esta herramienta será necesario conocer los costes totales de inversión y operación y mantenimiento del proyecto objeto de estudio, y actualizarlos al año 2000 con la variación del Índice de Precios al Consumo. Estos valores describirán las demandas finales *Y*.

Los resultados que se obtendrán a partir de la aplicación de esta herramienta se referirán al varios aspectos como se ha descrito a lo largo de esta tesis doctoral:

- generación de actividad económica
- generación de empleo
- consumo de energía
- emisiones de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub>
- otras emisiones: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM.

En la Figura 19 se muestra la apariencia de la herramienta desarrollada, que actualmente se encuentra disponible en la plataforma informática de la Universidad Carnegie Mellon de Pittsburgh para la herramienta EIO-LCA de Estados Unidos.



**Figura 19: Herramienta ACV –IO de España. Pantalla de selección de ramas de actividad**

En primer lugar, se debe seleccionar la rama o ramas de actividad asociada a las demandas de bienes y servicios del sistema objeto de análisis y definir las cantidades en €<sub>2000</sub> que se requieren de cada bien. Asimismo, es necesario elegir el impacto que se quiere estimar y el número de ramas de actividad que se mostrarán en el resultado, pudiéndose mostrar las 5 o 10 más relevantes al impacto estimado o todas las ramas de actividad que componen la contabilidad nacional.

La herramienta ACV –IO mostrará los resultados obtenidos a partir de las variables elegidas por el usuario, tal y como se observa en la Figura 20.



Figura 20: Herramienta ACV –IO de España. Ejemplo de la apariencia de los resultados.

## 6.2 PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CEBADA

La estimación de los impactos a lo largo del ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se ha llevado a cabo mediante la aplicación de dos metodologías distintas: (i) ACV y (ii) ACV –IO.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con cada metodología y la comparación de éstos.

### 6.2.1 ACV

Los resultados que se han obtenido con la metodología ACV se refieren a:

- Consumo energético
- Emisiones de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>
- Otras emisiones atmosféricas: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM

El ACV permite la estimación de emisiones de muchos más contaminantes, sin embargo se han seleccionado sólo los mencionados para comparar los resultados con los de la herramienta ACV –IO.

El ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se ha dividido en dos etapas principales: (i) etapa agrícola y (ii) etapa de producción de bioetanol. Los resultados se presentan para el conjunto del ciclo de vida en primer lugar y posteriormente para cada etapa, facilitándose así la comprensión de los mismos.

La unidad funcional sirve de referencia para la presentación de resultados y fue anteriormente definida como 1MJ de bioetanol producido.

La Tabla 21 muestra los resultados del ACV obtenidos para el consumo de energía y emisiones atmosféricas correspondientes a la producción de 1 MJ de bioetanol.

**Tabla 21: Resultados ACV por MJ de bioetanol de cebada en España**

	TOTAL	ETAPA AGRÍCOLA	PRODUCCIÓN BIOETANOL
Consumo de energía MJ	6,42E-01	2,59E-01	3,83E-01
CO <sub>2</sub> g	38,37	14,49	23,88

<b>N<sub>2</sub>O g</b>	3,56E-02	7,86E-02	-4,30E-02
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	-4,25E-02	1,46E-02	-5,71E-02
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	2,48E-01	1,64E-01	8,44E-02
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	-1,84E-01	-3,09E-03	-1,81E-01
<b>CO g</b>	5,43E-02	3,07E-02	2,36E-02
<b>COVNM g</b>	4,07E-02	5,68E-02	-1,62E-02

La producción de bioetanol a partir de cebada supone un consumo de 0,64 MJ por MJ de bioetanol producido, siendo la etapa de la propia elaboración de bioetanol la que mayor cantidad de energía requiere, 0,38 MJ.

En cuanto a las emisiones atmosféricas, como se puede observar en la Tabla 21, a lo largo del ciclo de vida analizado se emiten 38 g de CO<sub>2</sub>, de los cuales, más del 60% se generan durante la etapa de producción del bioetanol.

En lo referente a otras emisiones de efecto invernadero, se emiten algo más de 0,03 g de N<sub>2</sub>O en el ciclo de vida, siendo más del doble las generadas por la etapa agrícola. Estas emisiones se ven compensadas con las emisiones evitadas en la etapa de producción de bioetanol, 0,04 g por MJ. En la producción del bioetanol se obtienen además dos importantes co-productos, como se mencionó en la sección anterior: los DDGs y la electricidad producida por cogeneración. La obtención de estos co-productos evita las cargas originadas en la producción de sus productos alternativos a los que sustituyen. Estas cargas evitadas son por lo tanto las responsables de los valores negativos observadas para algunas sustancias.

En el caso del CH<sub>4</sub>, en todo el ciclo de vida de la producción de bioetanol se evita la emisión a la atmósfera de 0,04 g de CH<sub>4</sub>. A lo largo de la etapa agrícola se emiten 0,0014 g de CH<sub>4</sub>, mientras que en la etapa de elaboración de bioetanol se evita la emisión de 0,057 g de CH<sub>4</sub>.

Asimismo se han estimado las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM, cuyos resultados se muestran también en la Tabla 21.

La etapa agrícola es la principal responsable de las emisiones de NOx. Durante esta etapa se emiten 0,16 g de NOx, que representan más del 60% de las emisiones totales en el ciclo de vida, mientras que durante la etapa de elaboración de bioetanol sólo se emiten 0,08 g.

En cuanto a las emisiones de SOx, los resultados muestran que la producción de bioetanol en España evita la emisión de 0,18 g, de los cuales casi la totalidad se evitan en la etapa de producción de bioetanol.

A lo largo del ciclo de vida analizado se emiten 0,054 g de CO, repartidos de manera similar entre las dos etapas consideradas.

Con respecto a las emisiones de COVNM, durante la etapa agrícola se emiten 0,057 g, mientras que en la etapa de producción de bioetanol se evita la emisión de 0,016 g.

La contribución a los impactos analizados de cada etapa se muestra en la Figura 21.



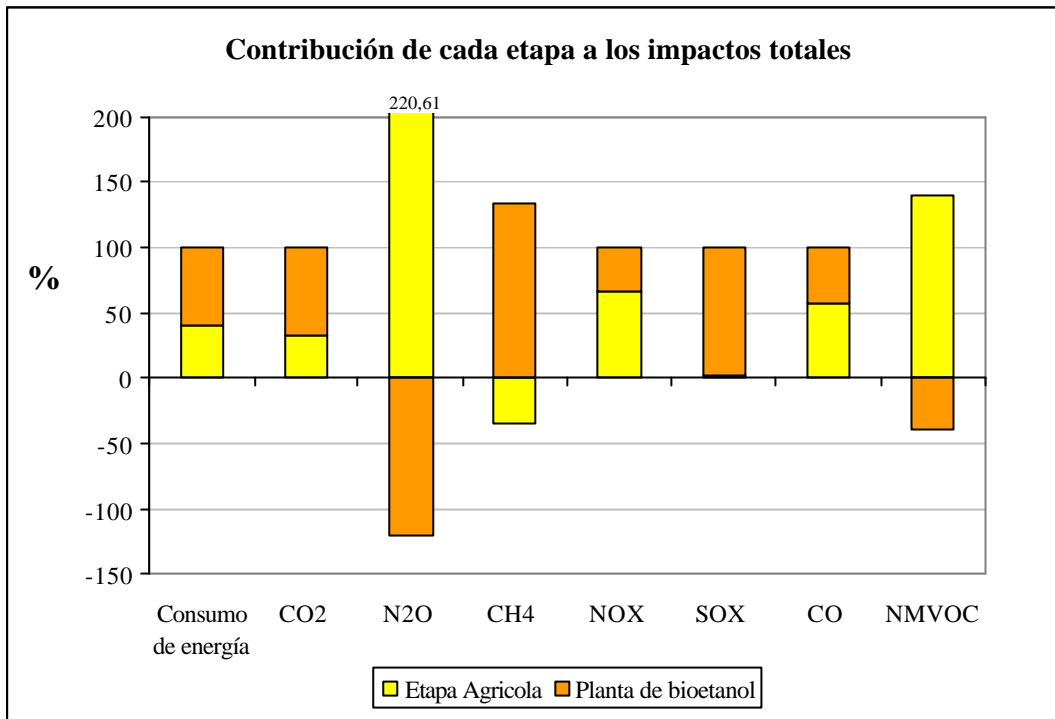


Figura 21: Porcentaje de contribución por etapas a los impactos

- **Etapa Agrícola**

En la metodología, se describieron las labores llevadas a cabo durante la producción del grano de cebada. Los resultados relativos a esta etapa se han desglosado de modo que muestran los impactos relativos a: (i) las labores llevadas a cabo en el terreno, (ii) la fabricación de los distintos agroquímicos y (iii) la aplicación de los agroquímicos.

Los resultados de esta etapa se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22: Resultados etapa agrícola

	Total	Labores	Aplicación fertilizantes	Fabricación fertilizantes	Aplicación herbicidas	Fabricación herbicidas	Producción paja
Consumo de energía MJ	2,56E-01	2,67E-01	-	1,15E-01	-	6,97E-03	-1,33E-01
CO <sub>2</sub> g	14,49	12,31	2,87	6,01	0,77	0,19	-7,66
N <sub>2</sub> O g	7,86E-02	1,52E-02	2,88E-02	3,47E-02	2,95E-05	1,90E-06	-1,73E-04
CH <sub>4</sub> g	1,46E-02	1,40E-02	1,19E-04	1,31E-02	3,17E-05	8,57E-04	-1,34E-02
NO <sub>x</sub> g	1,64E-01	1,24E-01	6,38E-02	3,02E-02	1,63E-02	4,72E-04	-7,08E-02
SO <sub>x</sub> g	-3,09E-03	2,81E-02	9,31E-04	1,38E-02	2,48E-04	1,13E-03	-4,73E-02
CO g	3,07E-02	4,24E-02	1,19E-02	1,07E-02	3,29E-03	9,40E-05	-3,78E-02
COVM g	5,68E-02	4,58E-02	1,57E-02	3,26E-03	1,28E-02	6,08E-04	-2,14E-02

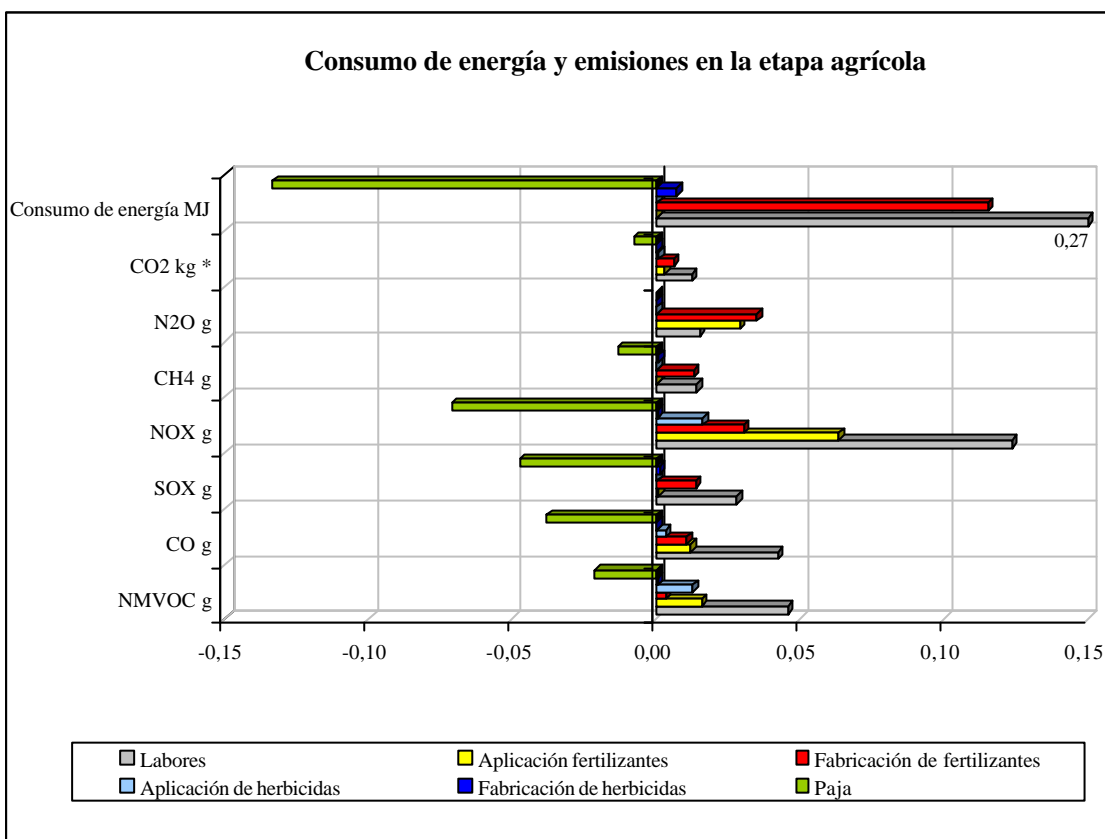
Durante la etapa agrícola se consumen 0,25 MJ para obtener la cantidad de grano de cebada necesaria, 0,037 kg por unidad funcional. El laboreo de las tierras y la fabricación de los fertilizantes son las etapas que demandan más energía, 0,26 y 0,11 MJ respectivamente. Es necesario tener en cuenta que en esta etapa se obtiene como co-producto la paja de cebada, que evita la producción de heno de alfalfa. En este sentido, se aplicó la extensión de los límites del sistema, obteniendo como resultado que la producción de paja evita el consumo de 0,13 MJ, correspondientes a la producción del heno de alfalfa evitado.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> han sido estimadas en 14,5 g a lo largo de la etapa agrícola. Del mismo modo que en lo relativo al consumo de energía, el laboreo en el cultivo genera la mayor cantidad de los gases junto con la fabricación de los fertilizantes.

La producción de paja, al sustituir al heno de alfalfa, evita la emisión de 7,6 g de CO<sub>2</sub>.

En lo referente a las emisiones de N<sub>2</sub>O, se debe destacar que aproximadamente el 80% de las emisiones son debidas a los fertilizantes. La fabricación de los fertilizantes necesarios para el cultivo y su aplicación en la tierra emiten 0,035 g y 0,029 g de N<sub>2</sub>O, aproximadamente el 44% y el 36% con respecto al total emitido.

Estos resultados se ilustran en la Figura 22 en diferentes escalas para su mejor visualización.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 22: Consumo de energía y emisiones en la etapa agrícola por MJ de bioetanol**

A lo largo de esta etapa se emiten 0,015 g de CH<sub>4</sub>. Las labores que se llevan a cabo en el campo y la fabricación de fertilizantes son las fases que más CH<sub>4</sub> emiten, 0,014 y 0,013 g respectivamente. La producción de paja, que sustituye a la producción de heno de alfalfa, evita la emisión de 0,13 g de CH<sub>4</sub>.

La producción de grano de cebada supone la emisión a la atmósfera de 0,16 g de NO<sub>x</sub>. Aproximadamente el 75% de estas emisiones, 0,12g de NO<sub>x</sub>, provienen de las labores que se llevan a cabo para el cultivo. La aplicación de fertilizantes emite 0,06 g de NO<sub>x</sub>, que representan el 40% de las emisiones totales. Sin embargo, estas emisiones se ven

compensadas con la producción de paja, que evita la emisión de 0,07 g de NOx al sustituir a la producción de heno de alfalfa.

El laboreo del cultivo y la fabricación de fertilizantes son también, en el caso de las emisiones de SOx, las dos fases que más contribuyen a este impacto. El laboreo produce la emisión de 0,028 g de SOx mientras que en la fabricación de fertilizantes se emiten 0,014 g. Sin embargo, la producción de paja como co-producto evita la emisión de 0,047 g de SOx, por lo que la etapa agrícola en el caso del grano de cebada para bioetanol evita emisiones de SOx.

El análisis de las emisiones de CO y de COVNM se realiza en conjunto, pues las principales fuentes de emisiones son las mismas en ambos casos. La mayor parte de estas emisiones se generan durante el laboreo del cultivo, como se aprecia en la Tabla 22 y en la Figura 22. En ambos casos, la producción de paja como sustituto del heno de alfalfa evita la emisión de 0,038 g de CO y 0,021 g de COVNM.

- ***Etapa de producción de bioetanol***

El proceso de producción de bioetanol a partir de cebada se ha descrito en capítulos anteriores, pero es necesario recordar que además del bioetanol, se obtienen otros productos con uso fuera del sistema que se han tenido en cuenta: DDGs y electricidad, para los que se ha aplicado la extensión de los límites del sistema. Los resultados del ACV para la producción de 1 MJ de bioetanol se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23: Resultados etapa de producción de bioetanol**

Por MJ de bioetanol	TOTAL	Producción bioetanol	DDGs	Electricidad
Consumo de energía MJ	3,83E-01	1,29	-9,32E-02	-8,16E-01
CO <sub>2</sub> g	23,88	61,52	-4,89	-32,75
N <sub>2</sub> O g	-4,30E-02	1,56E-03	-4,42E-02	-3,05E-04
CH <sub>4</sub> g	-5,71E-02	7,51E-02	-1,56E-02	-1,17E-01
NOx g	8,44E-02	2,01E-01	-5,26E-02	-6,37E-02
SOx g	-1,81E-01	1,37E-02	-5,81E-03	-1,88E-01
CO g	2,36E-02	6,33E-02	-2,99E-02	-9,80E-03
COVNM g	-1,62E-02	9,92E-03	-2,10E-02	-5,15E-03

La planta requiere 1,29 MJ para producir un MJ de bioetanol. Sin embargo, la obtención de DDGs, que sustituyen la producción de trigo para pienso animal, y la electricidad, que sustituye a la electricidad del mix nacional, evitan el consumo de 0,093 MJ y 0,82 MJ respectivamente, por lo que en conjunto se consumen 0,38 MJ de energía fósil por unidad funcional.

Estos resultados son similares en las emisiones de CO<sub>2</sub>, donde la elaboración de bioetanol genera 61,52 g de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la obtención de los co-productos electricidad y DDGs, que sustituyen a la producción de electricidad del mix nacional y a la producción de trigo, evita la emisión de 32,75 g y 4,9 g de CO<sub>2</sub> respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas son causadas principalmente por el mix de generación eléctrico, que en España tiene una importante fracción de combustibles fósiles como el carbón y el gas.

Cabe destacar que la etapa de producción de bioetanol evita la emisión de 0,04 g de N<sub>2</sub>O por MJ de bioetanol. Estas emisiones se evitan al obtenerse DDGs como co-producto. Al sustituir los DDGs al trigo, éste deja de cultivarse, evitando así las emisiones debidas principalmente a la aplicación y fabricación de agroquímicos.

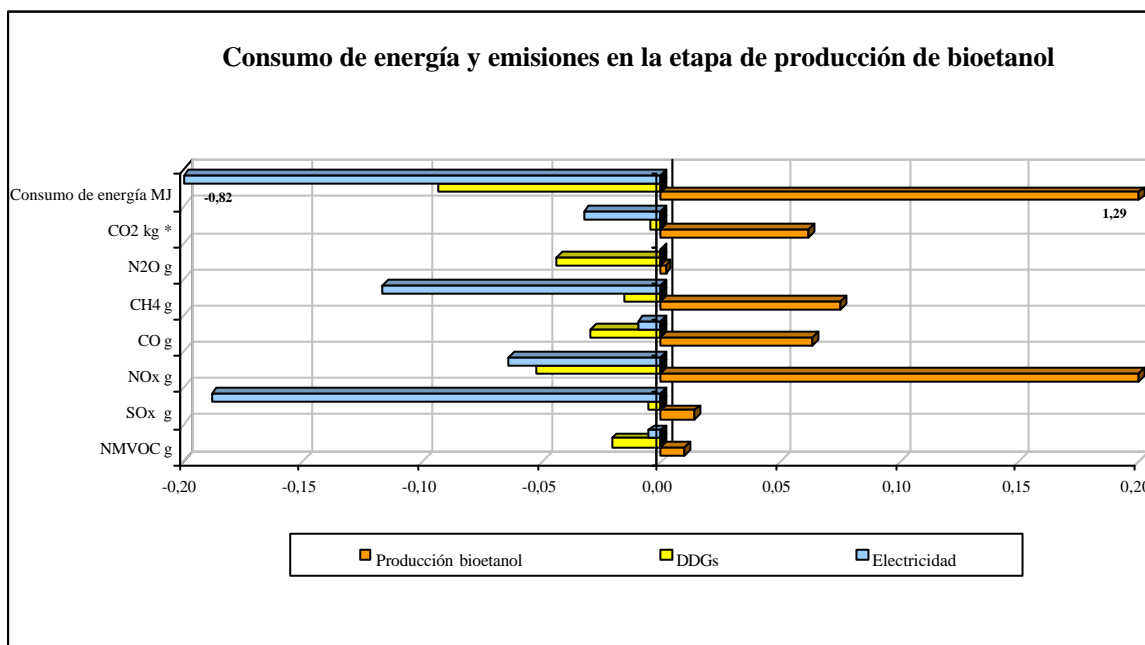
Del mismo modo, se evitan emisiones de CH<sub>4</sub> y de SO<sub>x</sub> por MJ de bioetanol obtenido. Aunque el proceso de producción conlleva emisiones de ambos gases, como se muestra en la Tabla 23, la producción de electricidad como co-producto evita la emisión de estos gases en mayores cantidades a las generadas en el proceso de producción del bioetanol. La producción de DGGs también evita la emisión de estos contaminantes pero en menor medida.

La producción de DDGs y la generación de electricidad evitan además de la emisión de 0,03 g y 0,01 g de CO, la emisión de 0,05 g y 0,064 g de NO<sub>x</sub>.

Por último, esta etapa supone también un ahorro de 0,016 g de COVNM, debido principalmente a la obtención de DDGs y en menor medida a la generación de electricidad.

Estos resultados muestran la importancia de la producción de electricidad y DDGs como co-productos. En este sentido, es necesario destacar la composición del mix eléctrico nacional al que sustituye la electricidad producida en la planta. La gran participación de combustibles fósiles en la composición del mix eléctrico nacional del año 2006, explica la magnitud de las emisiones evitadas.

Los resultados de esta etapa también se muestran en la Figura 23.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 23: Consumo de energía y emisiones en la etapa de producción de bioetanol**

A partir de los resultados obtenidos se pueden identificar algunas áreas de mejora para tratar de minimizar los impactos medioambientales. Una optimización de las labores agrícolas y una reducción de la utilización de agroquímicos disminuirían la emisión de otros gases atmosféricos: N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub>. La utilización de otras fuentes energéticas no fósiles en la planta de transformación de bioetanol disminuiría el consumo de energía fósil y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **6.2.2 ACV –IO**

Los resultados que se han obtenido con la metodología ACV –IO se pueden separar en resultados relativos al medio ambiente y relativos al medio social:

- Consumo de energía
- Emisiones de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>
- Otras emisiones atmosféricas: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM
- Impactos sociales: actividad económica y empleo generado

La realización del ACV –IO de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se ha dividido en las siguientes etapas: (i) etapa agrícola, (ii) construcción y (iii) operación y mantenimiento. Del mismo modo que en el caso del ACV, los resultados se presentan en primer lugar para el conjunto del ACV –IO y posteriormente para cada etapa. La unidad funcional de referencia para los resultados es 1 MJ de bioetanol producido, salvo en el caso de la generación de empleo, que se muestra para la vida útil de la planta, considerada en 20 años.

Los consumos energéticos, emisiones atmosféricas, así como la actividad económica y el empleo generado resultado del ACV –IO de la producción de 1MJ de bioetanol en España se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24: Resultados ACV –IO por MJ de bioetanol de cebada en España**

Por MJ bioetanol	Total	Agricultura	Construcción	O & M
<b>Consumos de energía MJ</b>	9,49E-01	1,40E-01	2,09E-02	7,88E-01
<b>CO<sub>2</sub> g</b>	46,25	7,68	0,93	37,64
<b>N<sub>2</sub>O g</b>	3,19E-02	4,56E-02	6,11E-05	-1,37E-02
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	4,47E-01	5,94E-01	1,37E-03	-1,49E-01
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	1,42E-01	2,76E-02	3,68E-03	1,11E-01
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	-4,19E-02	2,97E-02	6,50E-03	-7,81E-02
<b>CO g</b>	1,44E-01	5,93E-02	1,03E-02	7,47E-02
<b>COVNM g</b>	5,00E-02	2,83E-02	1,87E-03	1,98E-02
<b>Actividad económica €</b>	4,69E-02	3,85E-02	4,50E-03	3,93E-03
<b>Actividad directa económica €</b>	3,07E-02	2,65E-02	2,88E-03	1,36E-03
<b>Empleo en la vida útil</b>	22716	25731	1484	-4499

Según la metodología de ACV –IO, la producción de 1 MJ de bioetanol en España requiere 0,95 MJ, de los cuales más del 80% se consumen en la etapa de operación y mantenimiento. El consumo de energía debido a la construcción de las infraestructuras de la planta termosolar sólo supone alrededor del 2% de la energía total consumida.

En referencia a las emisiones de CO<sub>2</sub>, el ACV –IO ha estimado 46 g CO<sub>2</sub> emitidos en el ciclo de vida analizado. Del mismo modo que en el consumo energético, más del 80% de estas emisiones se producen en la etapa de operación y mantenimiento, mientras que la etapa agrícola y la construcción suponen alrededor del 16% y el 2% respectivamente.

El N<sub>2</sub>O emitido en la producción de bioetanol es algo superior a 0,03 g, a pesar de que durante la etapa agrícola se emiten 0,046 g de N<sub>2</sub>O. Este resultado total se debe a que durante la etapa de operación y mantenimiento se evita la emisión de 0,014 g de N<sub>2</sub>O,



compensando así las emisiones de la etapa agrícola. El origen de las emisiones de  $N_2O$  evitadas se identificará en el análisis posterior de la etapa de operación y mantenimiento. Este mismo efecto ocurre con las emisiones de  $CH_4$ . La producción de 1 MJ de bioetanol genera 0,45 g de  $CH_4$ , a pesar de que en la etapa agrícola se emiten más de 0,59 g. La etapa de operación y mantenimiento compensa parte de las emisiones de la etapa agrícola al evitar la emisión de casi 0,15 g de  $CH_4$ . El análisis detallado de esta etapa identificará el origen de las emisiones evitadas.

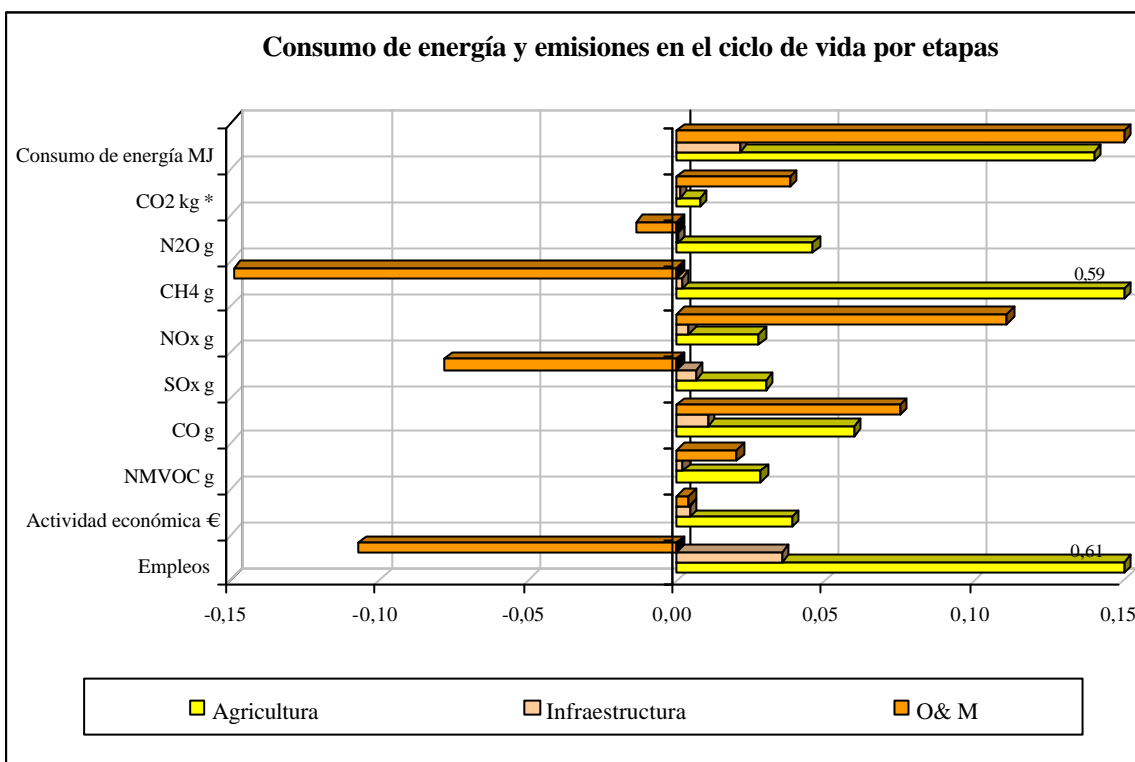
Con respecto a las emisiones de  $NO_x$ , éstas ocurren principalmente en la etapa de operación y mantenimiento, 0,11 g de  $NO_x$  por MJ de bioetanol, siendo 0,14 g la cantidad total de emisiones de  $NO_x$ . La etapa agrícola contribuye aproximadamente al 20% del total de las emisiones de  $NO_x$ , mientras que la construcción no supera el 3%.

En cuanto a las emisiones de  $SO_x$ , la producción de bioetanol supone un ahorro ya que evita la emisión de 0,042 g de  $SO_x$ , debido a la etapa de operación y mantenimiento que evita la emisión de 0,078 g de  $SO_x$ . La etapa agrícola produce menos de 0,03 g de  $SO_x$ , mientras que la construcción sólo emite 0,006 g.

A lo largo de las distintas etapas se emiten 0,14 g de CO, de los que más del 50% se generan en la etapa de operación y mantenimiento y el 40% en la etapa agrícola.

Las emisiones de COVNM se generan mayoritariamente en la etapa agrícola, 0,028 g y en la etapa de operación y mantenimiento, 0,002 g.

Estos resultados se muestran en la Figura 24.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 24: Consumo de energía y emisiones en la producción de 1 MJ de bioetanol en España**

La etapa de construcción ha sido tradicionalmente excluida de los ACV de productos combustibles (Lechón et al., 2006; Lechón et al., 2005; Sheehan et al., 1998) ya que se asumía que la contribución de ésta a los impactos analizados no era relevante. Los resultados obtenidos con la herramienta desarrollada en esta tesis muestran que esta etapa contribuye con menos del 3% a los impactos analizados, lo que permite sustentar la hipótesis de que en los ACV de combustibles las infraestructuras pueden quedar fuera de los límites del sistema sin con ello comprometer los resultados obtenidos.

En cuanto a los aspectos socioeconómicos, el ACV –IO permite obtener resultados sobre la actividad económica total y directa que genera la producción de bioetanol en España así como los nuevos empleos asociados a esta producción.

El coste total estimado para la producción de 1 MJ de bioetanol de cebada a lo largo del ciclo de vida considerado es de 0,0295 €<sub>2000</sub> y genera una actividad económica total (incremento en la demanda de bienes y servicios) de 0,047 €<sub>2000</sub>, como se puede ver en la Tabla 24. Más del 80% de la actividad económica se produce durante la etapa agrícola, entorno al 9,5% se debe a la etapa de construcción de las infraestructuras y sólo el 8% se da en la etapa de operación y mantenimiento. A partir de estos resultados se puede calcular el efecto multiplicador que mide la propagación de un cambio en la demanda de un bien o servicio al resto de ramas de actividad. El efecto multiplicador de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se estimó en 1,59, lo que supone que un incremento de 1 € en la demanda de bioetanol, produce incrementos en la demanda de bienes y servicios en la economía nacional por valor de 1,59 €

Además, el ACV –IO permite calcular la actividad económica directa, es decir, la actividad que se genera en el primer nivel de la cadena de suministro, los sectores que suministrarán de modo directo bienes y servicios como respuesta a la nueva demanda.

La actividad económica directa se ha estimado en 0,03 €<sub>2000</sub> por MJ de bioetanol producido, de los cuales más del 85% se generan en la etapa agrícola, alrededor del 9% son debidos a la construcción y menos del 5% se generan en la etapa de operación y mantenimiento.

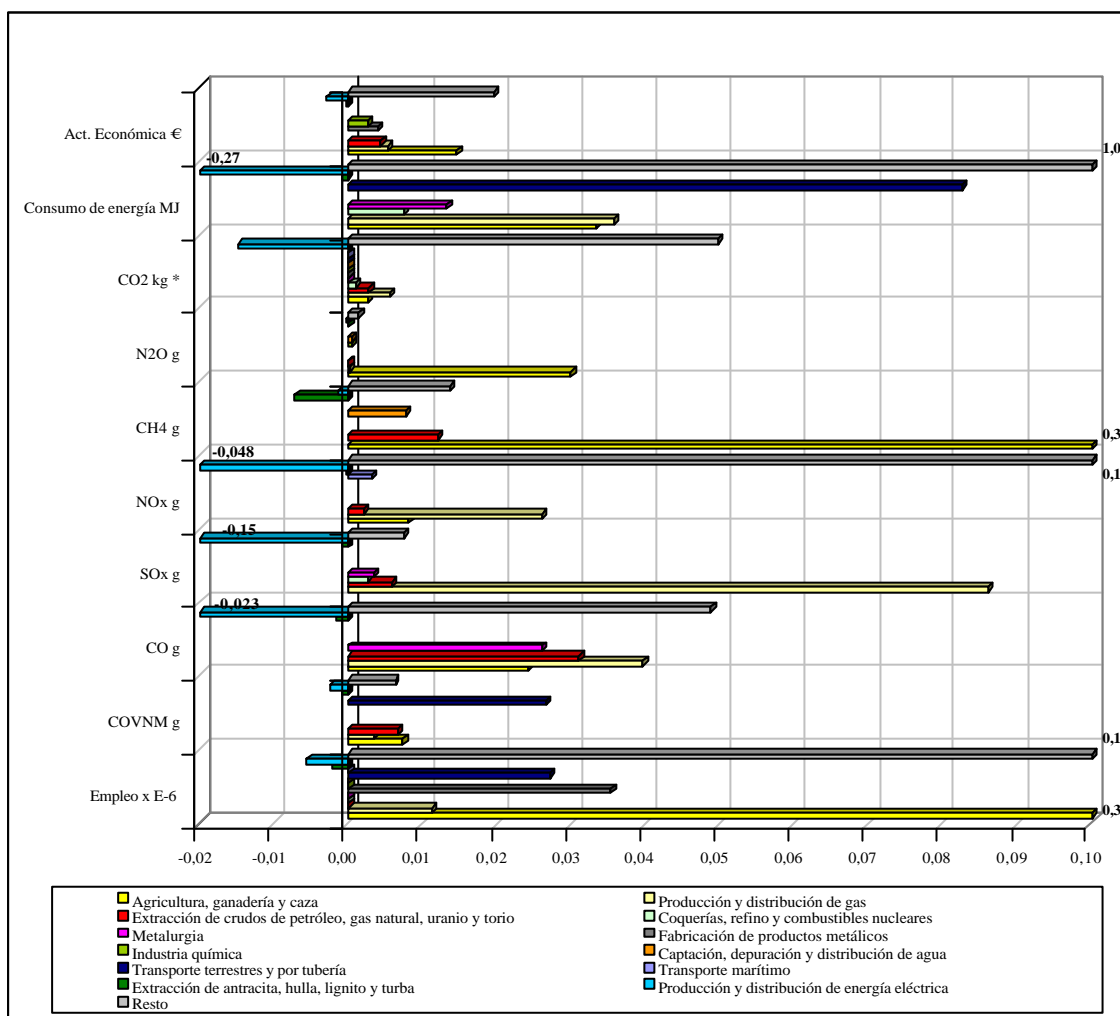
Finalmente se han estimado los nuevos empleos que genera la producción de bioetanol en España. En la Figura 24 se muestran los empleos por etapas por MJ de bioetanol producido, mientras que la Tabla 24 describe los empleos generados a lo largo de los 20 años de vida útil de la planta de producción, que se han estimado en un total de 22588.

La etapa agrícola genera 25731 empleos mientras que la etapa de construcción crea 1484 nuevos empleos. Sin embargo, debido a la obtención de co-productos, fundamentalmente a los DDGs, la etapa de operación y mantenimiento supone la

pérdida de 4499 puestos de trabajo. La producción de DDGs evita la producción agrícola de trigo por alimentación animal. El sector agrícola es un sector muy intensivo en mano de obra y de ahí la magnitud de los empleos evitados.

La metodología ACV –IO permite además identificar las ramas de actividad que más contribuyen a cada uno de los impactos analizados. La Tabla 66 del Anexo muestra los resultados de cada impacto analizado así como la contribución de cada rama de actividad del ciclo de vida de la producción de bioetanol.

La Figura 25 muestra las ramas con mayor contribución a los impactos analizados en el ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de cebada en España. Asimismo, las ramas de actividad que evitan la generación de impactos como consecuencia de la obtención de co-productos en el sistema también se representan en la figura.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 25: Etapa agrícola: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol**

Las ramas de actividad con mayor contribución a los impactos socioeconómicos y al consumo energético se muestran en la Tabla 25. Los sectores evitan la generación de impactos también han sido incluidos en esta tabla.

**Tabla 25: Ramas de actividad con mayor contribución a la actividad económica, la generación de empleo y el consumo de energía por MJ de bioetanol producido**

Por MJ de bioetanol	Act. Económica €	Empleo	Consumo de energía MJ
Agricultura, ganadería y caza	1,45E-02	3,24E-07	3,32E-02
Producción y distribución de gas	5,32E-03	1,11E-08	3,56E-02
Extracción de crudos de petróleo y gas, uranio y torio	4,28E-03		
Coquerías, refinado y combustibles nucleares			7,46E-03
Pesca y acuicultura		1,24E-08	
Selvicultura y explotación forestal		2,47E-08	
Metalurgia	1,32E-02		
Fabricación de productos metálicos	3,94E-03	3,53E-08	
Industria química	2,58E-03		
Transporte terrestres y por tubería		2,71E-08	8,26E-02
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	-2,40E-04	-2,16E-09	-8,46E-04
Producción y distribución de energía eléctrica	-2,95E-03	-5,64E-09	-2,70E-01
Resto <sup>8</sup>	1,95E-02	1,14E-07	1,05
<b>TOTAL</b>	<b>4,69E-02</b>	<b>5,38E-07</b>	<b>9,49E-01</b>

Las ramas con mayor relevancia en cuanto a la actividad económica son la *Agricultura, ganadería y caza* y la *Producción y distribución de gas*, tal y como muestra la tabla. El mismo modo, la *Agricultura, ganadería y caza* es la rama que mayor generación de empleo supone, junto con la *Fabricación de productos metálicos*. En cuanto al consumo de energía, el Transporte terrestre es la rama que destaca con mayor requerimiento energético. Los valores negativos de las ramas *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba* y *Producción y distribución de energía eléctrica* se deben a la obtención de electricidad como co-producto del proceso de transformación de la cebada a bioetanol.

<sup>8</sup> Los consumos energéticos y emisiones debido al consumo de gas natural en la caldera se encuentran aquí incluidos.

**Tabla 26: Ramas de actividad con mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero por MJ de bioetanol producido**

Por MJ de bioetanol	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Agricultura, ganadería y caza	2,57	2,99E-02	3,85E-01
Producción y distribución de gas	5,51	1,11E-04	
Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio	2,70	6,76E-05	1,21E-02
Coquerías, refino y combustibles nucleares	8,00E-01		
Industria química		4,04E-04	
Captación, depuración y distribución de agua		3,23E-04	7,66E-03
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	-1,23E-01	-4,96E-06	-7,32E-03
Producción y distribución de energía eléctrica	-1,49E+01	-2,92E-04	-1,52E-03
Resto <sup>9</sup>	4,97E+01	1,40E-03	1,37E-02
<b>TOTAL</b>	<b>4,63E+01</b>	<b>3,19E-02</b>	<b>4,47E-01</b>

La Tabla 26 indica las ramas que más contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero así como las que evitan éstas emisiones como consecuencia de la obtención de co-productos.

La rama *Producción y distribución de gas* genera la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> junto con la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*. En cuanto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, destaca la *Agricultura, ganadería y caza*, principalmente y la *Industria Química*. También la *Agricultura, ganadería y caza* origina la mayor parte de las emisiones de CH<sub>4</sub>. Nuevamente, los valores negativos para las ramas *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba* y *Producción y distribución de energía eléctrica* se deben a la obtención de co-productos en el sistema, como se podrá ver en los siguientes apartados.

<sup>9</sup> Los consumos energéticos y emisiones debido al consumo de gas natural en la caldera se encuentran aquí incluidos.

**Tabla 27: Ramas de actividad con mayor contribución a otras emisiones por MJ de bioetanol producido**

Por MJ	NOx g	SOx g	CO g	COVNM g
Agricultura, ganadería y caza	8,07E-03		2,40E-02	7,29E-03
Producción y distribución de gas	2,59E-02	8,61E-02	3,96E-02	3,48E-03
Transporte terrestre y por tubería				2,65E-02
Transporte marítimo	3,07E-03			
Metalurgia		3,34E-03	2,59E-02	
Coquerías, refino y combustibles nucleares		2,50E-03		
Extracción de crudos de petróleo y gas natural	2,04E-03	5,76E-03	3,10E-02	6,53E-03
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	-2,43E-04	-7,48E-04	-1,77E-03	-8,75E-04
Producción y distribución de energía eléctrica	-4,78E-02	-1,46E-01	-2,33E-02	-2,67E-03
Resto <sup>4</sup>	1,51E-01	7,47E-03	4,88E-02	6,20E-03
<b>TOTAL</b>	<b>1,42E-01</b>	<b>-4,19E-02</b>	<b>1,44E-01</b>	<b>5,00E-02</b>

Por último, se muestran en la Tabla 27 las ramas con mayor importancia en los impactos analizados para otras emisiones. La rama de *Producción y distribución de gas* contribuye notablemente a las emisiones de NOx, SOx y CO. En el caso de las emisiones de COVNM, es la rama *Transporte terrestre y por tubería* la que mayores emisiones origina.

- ***Etapas agrícolas***

Para el análisis de la etapa agrícola mediante la metodología ACV –IO se define la demanda de un bien, en este caso el grano de cebada, producido por la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza*, para la producción de bioetanol. En este sentido, este bien se define como una entrada al sistema y no como un producto del mismo. La consecuencia de esta afirmación es que no se considera la existencia de co-productos asociados al grano de cebada. Este hecho no será aplicable en aquellos análisis que estudien la producción de grano. En ellos, las entradas al sistema serán definidas por la demanda de agroquímicos, maquinaria agrícola, etc., y las salidas serán todos los productos: grano de cebada y paja.



Los resultados de consumo de energía, emisiones y aspectos socioeconómicos de la etapa agrícola se pueden ver en la Tabla 24. Sin embargo, es interesante descubrir las ramas de actividad que contribuyen de manera más significativa a cada uno de los impactos analizados. A través de estos resultados se podrán identificar mejoras tanto en el sistema de producción de bioetanol en España como en la propia metodología.

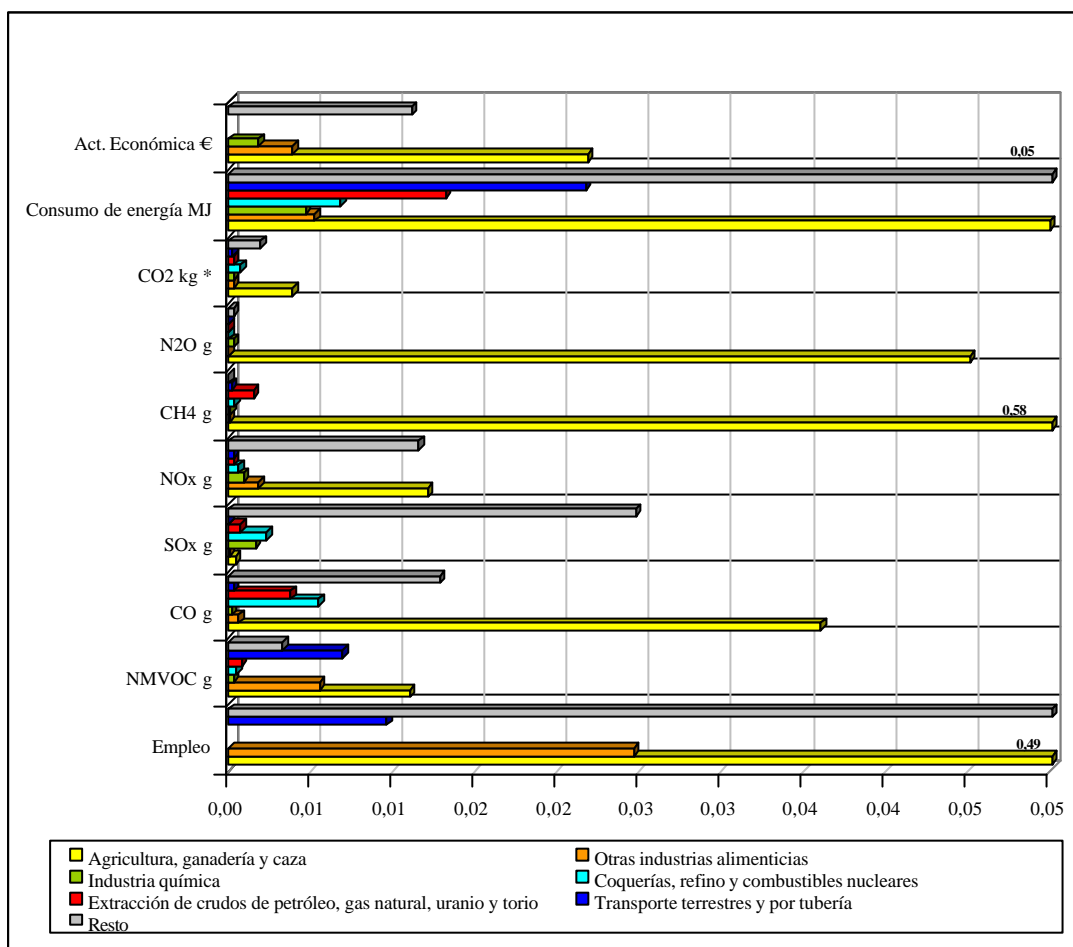
Las siguientes tablas muestran los resultados de los impactos analizados para las ramas de actividad más relevantes, mientras que el resto de ramas de las 73 definidas en la contabilidad nacional se han agrupado en una categoría llamada “Resto”.

**Tabla 28: Etapa agrícola: ramas de actividad con mayor contribución a los impactos socioeconómicos y el consumo energético por MJ de bioetanol**

Por MJ de bioetanol	Act. Económica €	Consumo de energía MJ	Empleo
Agricultura, ganadería y caza	2,18E-02	4,99E-02	4,88E-01
Otras industrias alimenticias	3,85E-03	5,23E-03	2,46E-02
Industria química	1,78E-03	4,65E-03	
Coquerías, refino y combustibles nucleares		6,82E-03	
Extracción de crudos de petróleo y gas natural.		1,32E-02	
Extracción de uranio y torio			
Transporte terrestres y por tubería		2,17E-02	9,61E-03
Resto	1,11E-02	5,15E-02	8,74E-02
<b>TOTAL</b>	<b>3,94E-02</b>	<b>1,53E-01</b>	<b>6,10E-01</b>

Como se observa en la Tabla 28 y en la Figura 26, la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza* repercute en mayor medida en todos los impactos analizados. En lo que respecta a la actividad económica y el consumo de energía la *Agricultura, ganadería y caza* supone más del 55% con respecto al total de cada impacto mencionado y alrededor del 80% del empleo generado.

Cabe destacar que el 80% del empleo generado en la etapa agrícola está asociado a la rama de la *Agricultura, ganadería y caza*, seguido de la rama *Otras industrias alimenticias* y *Comercio al por mayor e intermediarios*, que representan el 4% y 2% respectivamente.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 26: Etapa agrícola: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol**

En la Tabla 29 se describen las ramas que más contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

**Tabla 29: Etapa agrícola: ramas de actividad con mayor contribución a los gases de efecto invernadero por MJ de bioetanol**

Por MJ de bioetanol	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Agricultura, ganadería y caza	3,86	4,50E-02	5,80E-01
Otras industrias alimenticias	0,28	7,56E-06	4,51E-05
Industria química	0,29	2,78E-04	1,20E-04
Coquerías, refino y combustibles nucleares	0,73	2,09E-05	3,45E-04
Extracción de crudos de petróleo y gas natural.	0,33	8,26E-06	1,48E-03
Extracción de uranio y torio			
Transporte terrestres y por tubería	0,24	4,03E-06	2,02E-04
Resto	1,95	2,55E-04	1,24E-02
<b>TOTAL</b>	<b>7,68</b>	<b>4,56E-02</b>	<b>5,94E-01</b>

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, la *Agricultura, ganadería y caza* supone más del 55% con respecto al total de cada impacto mencionado. En el caso de las emisiones de N<sub>2</sub>O, la importancia de la *Agricultura, ganadería y caza* es aún mayor, pues representa más del 98% de emisiones totales. Destaca la poca contribución de la *Industria química* a estas emisiones, sólo 0,05%.

El 97% de las emisiones de CH<sub>4</sub> son generadas por la rama de la *Agricultura, ganadería y caza*, y sólo el 0,25% proviene de la rama *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*, siendo ésta la segunda actividad que más contribuye a estas emisiones.

Las ramas más importantes para los impactos de otras emisiones se muestran en la Tabla 30.

**Tabla 30: Etapa agrícola: ramas de actividad con mayor contribución por MJ de bioetanol**

Por MJ de bioetanol	NO <sub>x</sub> g	SO <sub>x</sub> g	CO g	COVNM g
Agricultura, ganadería y caza	1,21E-02	3,9E-04	3,6E-02	1,1E-02
Otras industrias alimenticias	1,84E-03	4,12E-05	5,89E-04	5,51E-03
Industria química	8,88E-04	1,58E-03	2,02E-04	2,95E-04
Coquerías, refino y combustibles nucleares	6,00E-04	2,29E-03	5,45E-03	4,98E-04
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	2,50E-04	7,05E-04	3,79E-03	7,98E-04
Transporte terrestres y por tubería	3,00E-04	3,71E-06	3,13E-04	6,96E-03
Resto	1,15E-02	2,47E-02	1,28E-02	3,23E-03

<b>TOTAL</b>	<b>2,75E-02</b>	<b>2,97E-02</b>	<b>5,91E-02</b>	<b>2,83E-02</b>
--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

La *Agricultura, ganadería y caza* y *Otras industrias alimenticias* son las dos ramas que mayor cantidad de emisiones de NOx aportan en esta etapa con el 44% y el 6,7% respectivamente.

La generación de emisiones de SOx se distribuye de manera similar a lo largo de las 73 ramas de actividad que engloba la contabilidad nacional. La mayor contribución a estas emisiones se produce en la rama *Coquerías, refino y combustibles nucleares* con casi el 8% respecto al total de la etapa.

El 60% de las emisiones de CO provienen de la *Agricultura, ganadería y caza*. Sólo el 10% y el 6% de las emisiones totales provienen de la *Coquerías, refino y combustibles nucleares* y de la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* respectivamente.

En cuanto a las emisiones de COVNM, casi el 40% de éstas son debidas a la rama de la *Agricultura, ganadería y caza*, el 25% se debe al *Transporte terrestre y por tubería* y casi el 20% a *Otras industrias alimenticias*.

- ***Etapa de Construcción***

En esta etapa se han considerado las demandas de bienes y servicios para la construcción de las infraestructuras necesarias para la planta de producción de bioetanol. Los impactos ambientales y socioeconómicos asociados a esta etapa se muestran en la Tabla 24.

- ***Etapa de Operación y Mantenimiento***

Como se ha mencionado en apartados anteriores, durante la etapa de operación y mantenimiento se obtiene bioetanol como producto principal además de DDGs y electricidad como co-productos.

Al igual que en el ACV, se ha llevado a cabo la extensión de los límites del sistema en la metodología ACV –IO, asumiendo que los DDGs evitan la producción de trigo como pienso para ganado, mientras que la electricidad sustituye la producción eléctrica del mix nacional.

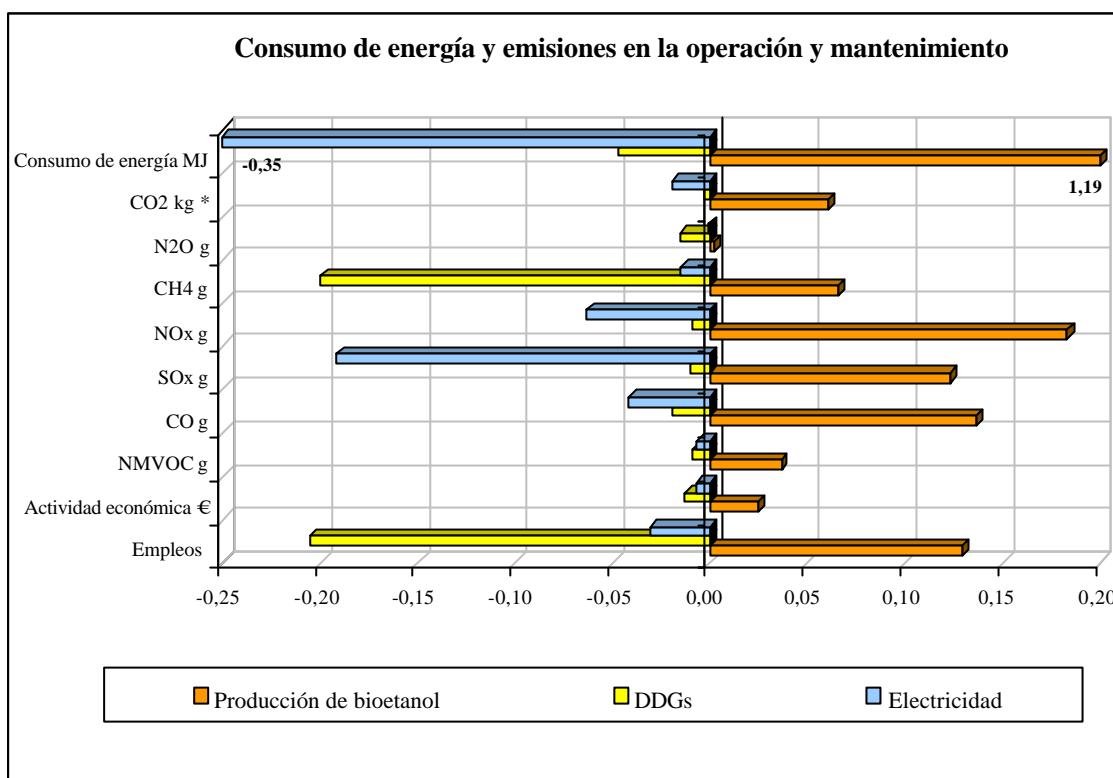
Los resultados que se obtienen al realizar la extensión de los límites muestran las emisiones generadas en cada rama de actividad asociadas a la etapa analizada y las emisiones evitadas asociadas a las ramas de actividad de los productos evitados. La Tabla 31 muestra los resultados para cada etapa: (i) la producción de bioetanol de la planta, (ii) la producción de DDGs y (iii) la producción de electricidad.

**Tabla 31: Resultados para la etapa de operación y mantenimiento**

<b>Por MJ de bioetanol</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Producción de bioetanol</b>	<b>DDGs</b>	<b>Electricidad</b>
<b>Consumo de energía MJ</b>	7,88E-01	1,19	-4,70E-02	-3,54E-01
<b>CO<sub>2</sub> g</b>	37,64	60,16	-2,58	-19,94
<b>N<sub>2</sub>O g</b>	-1,37E-02	2,05E-03	-1,53E-02	-4,44E-04
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	-1,49E-01	6,57E-02	-2,00E-01	-1,50E-02
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	1,11E-01	1,83E-01	-9,28E-03	-6,32E-02
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	-7,81E-02	1,23E-01	-9,99E-03	-1,91E-01
<b>CO g</b>	7,47E-02	1,36E-01	-1,99E-02	-4,18E-02
<b>COVNM g</b>	1,98E-02	3,63E-02	-9,51E-03	-6,97E-03
<b>Actividad económica €</b>	3,93E-03	2,43E-02	-1,29E-02	-7,41E-03
<b>Empleos</b>	-1,07E-01	1,29E-01	-2,05E-01	-3,07E-02

Al igual que en el ACV, destaca la importancia de la obtención de los DDGs y electricidad como co-productos.

Estos mismos resultados se encuentran en la Figura 27.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 27: Consumo de energía y emisiones en la operación y mantenimiento con extensión de los límites del sistema**

Las Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34 muestran las ramas de actividad que más contribuyen a cada uno de los impactos ambientales y socioeconómicos analizados así como aquellas ramas de actividad que, al estar asociadas a la extensión de los límites del sistema, evitan en alguna medida los impactos analizados.

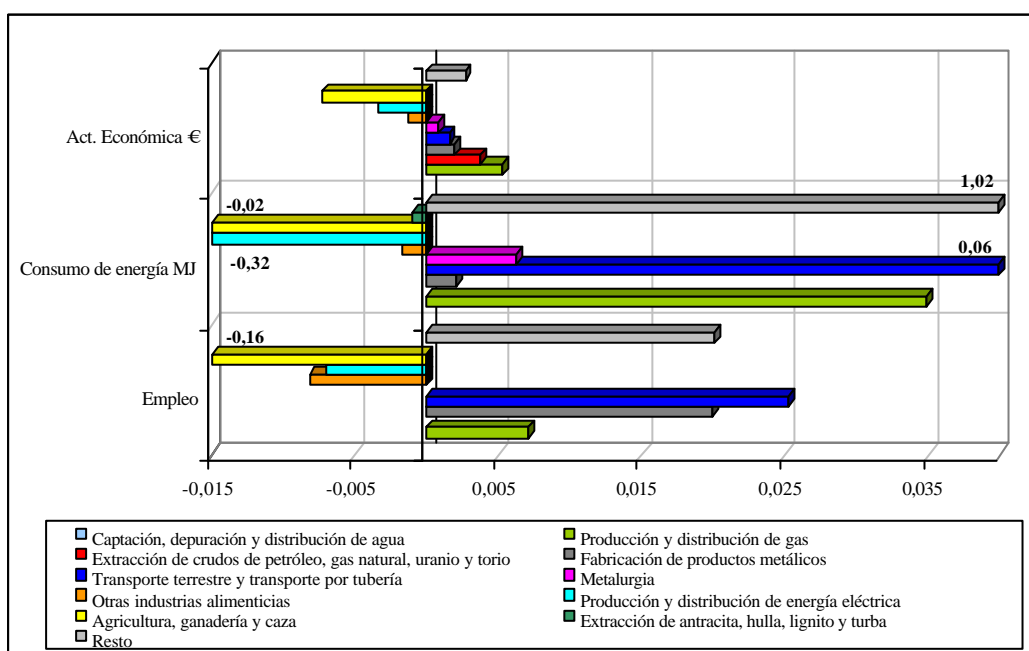
**Tabla 32: Etapa de Operación y Mantenimiento: ramas de actividad con mayor y menor contribución por MJ de bioetanol a la actividad económica, el consumo de energía y la generación de empleo.**

Por MJ de bioetanol	Act. Económica €	Consumo de energía MJ	Empleo
Captación, depuración y distribución de agua			
Producción y distribución de gas	5,22E-03	3,49E-02	7,04E-03
Extracción de crudos de petróleo gas natural, uranio y torio	3,70E-03		
Fabricación de productos metálicos	1,91E-03	2,12E-03	2,00E-02
Transporte terrestre y transporte por tubería	1,58E-03	5,69E-02	2,52E-02
Metalurgia	8,09E-04	6,31E-03	
Otras industrias alimenticias	-1,28E-03	-1,74E-03	-8,17E-03
Producción y distribución de energía eléctrica	-3,46E-03	-3,16E-01	-6,99E-03
Agricultura, ganadería y caza	-7,30E-03	-1,67E-02	-1,64E-01
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba		-1,04E-03	
Resto	2,74E-03	1,02E+00	2,01E-02
<b>TOTAL</b>	<b>3,93E-03</b>	<b>7,88E-01</b>	<b>-1,07E-01</b>

La rama de actividad *Producción y distribución de gas* genera la mayor actividad económica dentro de las 73 ramas que componen la contabilidad nacional seguida por la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*. Por el contrario, la *Agricultura, ganadería y caza* es la rama que evita de manera más importante la generación de actividad económica. Como se mencionó anteriormente, la producción de bioetanol conlleva la obtención de otros productos entre ellos los DDGs, que sustituyen al trigo para pienso animal. La demanda de trigo, asociado a la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza*, genera impactos ambientales y socioeconómicos tanto positivos como negativos. Cuando el trigo se sustituye por otro bien, en este caso los DDGs, la demanda de trigo disminuye, por lo que la producción de trigo disminuye. Los beneficios asociados a la demanda del trigo se evitarán, del mismo modo que los impactos, como se verá posteriormente. Por lo tanto, la producción de DDGs en la planta de bioetanol evita el incremento de la demanda de trigo, teniendo como consecuencia, entre otras, la disminución de la actividad económica.

De igual modo pero en menor medida ocurre con la rama de actividad *Producción y distribución de energía eléctrica*. Los valores negativos de esta rama para la actividad económica se deben a la extensión de los límites del sistema para la electricidad obtenida como co-producto de la planta de bioetanol. Al evitar la producción de electricidad proveniente de la red nacional, se evitan además los impactos positivos, como la generación de actividad económica.

En la Figura 28 se pueden observar los impactos evitados debidos a la extensión de los límites del sistema para los co-productos obtenidos en la etapa de operación y mantenimiento. Estos resultados muestran la intensidad de la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza*, en amarillo en la figura, con respecto a los impactos analizados.



**Figura 28: Etapa de operación y mantenimiento: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol**

Como consecuencia de la obtención de co-productos, la etapa de operación y mantenimiento de la planta de bioetanol supone la pérdida de 0,01 empleos por MJ producido, es decir, 4499 empleos en los 20 años de vida útil considerados para la planta. Esta pérdida se debe a la aplicación de la extensión de los límites del sistema



para los co-productos, del mismo modo que en la actividad económica, la obtención de DDGs en la planta de bioetanol evita la producción de trigo para pienso animal. Si este trigo tuviese que ser producido, generaría 0,164 empleos por MJ de bioetanol, que suponen 6911 empleos en la rama de *Agricultura, ganadería y caza*. La obtención de electricidad como co-producto también contribuye a la pérdida de 0,007 empleos por MJ de bioetanol.

En cuanto al consumo de energía, la producción de 1 MJ de bioetanol de cebada en España requiere el consumo de 0,788 MJ en la etapa de operación y mantenimiento. El *Transporte terrestre y por tubería* así como la *Producción y distribución de gas* son las ramas de actividad con mayores consumos energéticos. Estas ramas de actividad están asociadas al suministro de materias primas y materiales para el mantenimiento de la planta así como el consumo de gas natural para la caldera.

Nuevamente, algunas ramas de actividad evitan el consumo de energía en esta etapa como consecuencia de los productos evitados al realizar la extensión de los límites del sistema. Cabe destacar dentro de estas ramas de actividad la *Producción y distribución de energía eléctrica* asociada a la electricidad evitada de la red eléctrica nacional, que evita el consumo de 0,32 MJ por MJ de bioetanol producido durante esta etapa.

La Tabla 33 muestra las ramas con mayores emisiones de gases de efecto invernadero por MJ de bioetanol en esta etapa, así como las ramas que evitan la emisión de éstos como consecuencia de la obtención de co-productos.

**Tabla 33: Etapa de operación y mantenimiento: ramas de actividad con mayor y menor contribución por MJ de bioetanol a las emisiones de gases de efecto invernadero.**

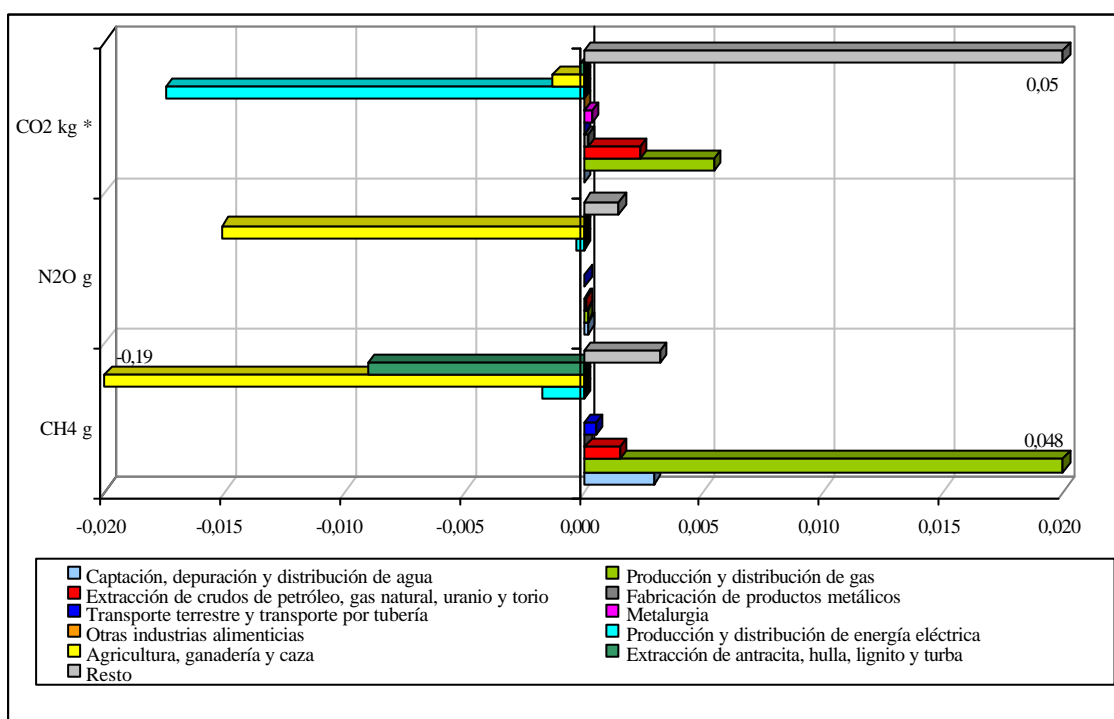
Por MJ de bioetanol	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Captación, depuración y distribución de agua		1,24E-04	2,95E-03
Producción y distribución de gas	5,41E+00	1,09E-04	4,83E-02
Extracción de crudos de petróleo gas natural, uranio y torio	2,33E+00	5,85E-05	1,53E-03
Fabricación de productos metálicos	1,56E-01		4,12E-06
Transporte terrestre y transporte por tubería		1,05E-05	5,29E-04
Metalurgia	3,02E-01		
Otras industrias alimenticias			
Producción y distribución de energía eléctrica	-1,74E+01	-3,42E-04	-1,78E-03
Agricultura, ganadería y caza	-1,30E+00	-1,51E-02	-1,95E-01
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	-1,52E-01	-6,12E-06	-9,03E-03
Resto	4,83E+01	1,46E-03	3,17E-03
<b>TOTAL</b>	<b>3,76E+01</b>	<b>-1,37E-02</b>	<b>-1,49E-01</b>

El ACV –IO estima la emisión de 37,6 g de CO<sub>2</sub> durante la etapa de operación y mantenimiento. Es necesario mencionar que sólo el consumo de gas natural en la caldera de la planta de bioetanol produce 48 g de CO<sub>2</sub> por MJ de bioetanol obtenido, considerados en el análisis. Además de estas emisiones, el ACV –IO añade las emisiones generadas por las ramas de actividad asociadas a esta etapa. Dentro de éstas, las ramas con mayores emisiones son la *Producción y distribución de gas* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*, que emiten 5,4 g y 2,3 g de CO<sub>2</sub> respectivamente.

La generación de electricidad en esta etapa sustituye la producción de electricidad con las tecnologías energéticas del mix eléctrico nacional, evitándose así la emisión de 17,4 g de CO<sub>2</sub> asociados a la rama *Producción y distribución de la energía eléctrica* por MJ de bioetanol obtenido.

La producción de DDGs evita la emisión de 1,3 g de CO<sub>2</sub> asociados a la rama *Agricultura, ganadería y caza* como consecuencia de la sustitución de la producción de trigo por los DDGs.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, la *Producción y distribución de gas* y la *Captación, depuración y distribución de agua* son las ramas que más emisiones generan, 1,09E-04 g y 1,24E-04 g, respectivamente. Sin embargo, la etapa de operación y mantenimiento de la planta de bioetanol evita la emisión de 0,014 g de N<sub>2</sub>O. Las emisiones evitadas se deben en su mayoría a la rama de la *Agricultura, ganadería y caza*, asociada a la producción de trigo que se evita al obtenerse DDGs como co-producto. Estos resultados se muestran con detalle en la Figura 29.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 29: Etapa de operación y mantenimiento: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol**

El último gas de efecto invernadero estimado en el ACV –IO es el CH<sub>4</sub>. La etapa analizada evita la emisión de 0,149 g de CH<sub>4</sub> por MJ de bioetanol, debido principalmente a la obtención de DDGs como co-producto, ya que la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza* ahorra 0,195 g de CH<sub>4</sub>. La rama de actividad con

mayores emisiones de CH<sub>4</sub> es la *Producción y distribución de gas*, 0,048 g por MJ de bioetanol.

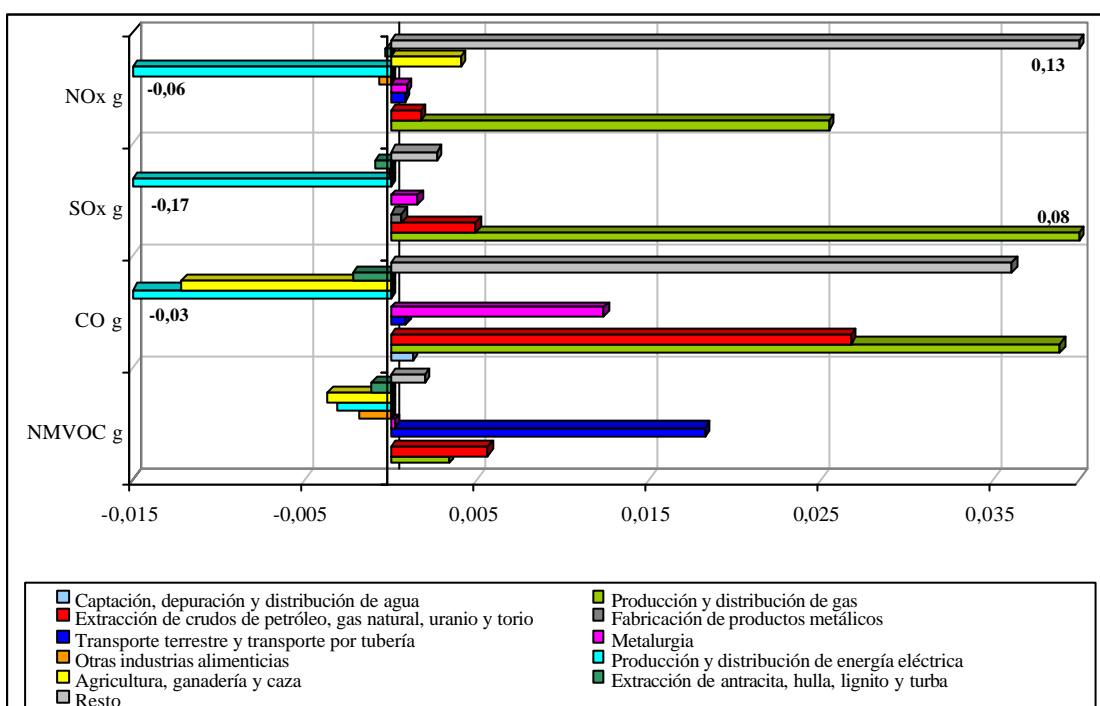
La Tabla 34 y la Figura 30 muestran los resultados de otras emisiones atmosféricas.

**Tabla 34: Etapa Operación y Mantenimiento: ramas de actividad con mayor y menor contribución por MJ de bioetanol a otras emisiones**

Por MJ de bioetanol	NOx g	SOx g	CO g	COVNM g
Captación, depuración y distribución de agua			1,27E-03	
Producción y distribución de gas	2,54E-02	8,46E-02	3,89E-02	3,41E-03
Extracción de crudos de petróleo y gas natural, uranio y torio	1,77E-03	4,99E-03	2,68E-02	5,65E-03
Fabricación de productos metálicos		6,28E-04		
Transporte terrestre y transporte por tubería	7,86E-04		8,20E-04	1,82E-02
Metalurgia	8,74E-04	1,60E-03	1,24E-02	1,89E-04
Otras industrias alimenticias	-6,13E-04			-1,83E-03
Producción y distribución de energía eléctrica	-5,60E-02	-1,72E-01	-2,73E-02	-3,13E-03
Agricultura, ganadería y caza	-4,07E-03	-1,30E-04	-1,21E-02	-3,68E-03
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	-3,00E-04	-9,23E-04	-2,19E-03	-1,08E-03
Resto	1,35E-01	2,66E-03	3,62E-02	2,03E-03
<b>TOTAL</b>	<b>1,11E-01</b>	<b>-7,81E-02</b>	<b>7,47E-02</b>	<b>1,98E-02</b>

La operación y mantenimiento de la planta de bioetanol genera 0,11 g de NOx por MJ de bioetanol producido, de los cuales 0,0254 g provienen de la *Producción y distribución de gas* y 0,0018 g de la *Extracción de antracita, hulla y lignito*. Estas emisiones junto con las generadas por otras ramas se compensan con las emisiones evitadas de otras ramas. La *Producción y distribución de energía eléctrica* evita la emisión de 0,056 g de NOx por MJ de bioetanol debido a la extensión de los límites del sistema de la electricidad generada en la planta. Además, la *Agricultura, ganadería y caza* evita la emisión de 0,004 g de NOx como consecuencia de la obtención de DDGs en el proceso que evita la producción de trigo. Otras ramas de actividad como la *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba* u *Otras industrias alimenticias* también contribuyen a la disminución de las emisiones de NOx.

En cuanto a las emisiones de SOx, la *Producción y distribución de gas* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* emiten 0,085 g y 0,005 g de SOx respectivamente por MJ de bioetanol. Éstas y otras emisiones se ven compensadas por ramas de actividad como la *Producción y distribución de energía eléctrica*, que evita la emisión de 0,17 g de SOx. Las emisiones totales de SOx para la etapa de operación y mantenimiento suponen un ahorro de 0,078 g.



**Figura 30: Etapa de operación y mantenimiento: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol**

La etapa de operación y mantenimiento de la planta emite 0,075 g de CO por MJ de bioetanol producido. La rama que más contribuye a estas emisiones es la *Producción y distribución de gas*, que emite 0,039 g. Debido a la extensión de los límites del sistema, las ramas de *Agricultura, ganadería y caza* y la *Producción y distribución de energía eléctrica* evitan la emisión de 0,012 g y 0,027 g de CO por MJ de bioetanol.

En el caso de los gases de COVNM para la etapa de operación y mantenimiento, el ACV-IO estima una emisión de 0,02g por MJ de bioetanol. Tanto la rama de

*Producción y distribución de energía eléctrica* como la rama de *Agricultura, ganadería y caza* evitan la emisión de  $3,13E-3$  g y  $3,68E-3$  g de CO como consecuencia de la extensión de los límites del sistema.

Los resultados estimados por la herramienta ACV –IO permiten identificar algunas áreas de mejora. Con respecto al consumo energético, el uso de fuentes energéticas no fósiles durante la etapa de operación y mantenimiento de la planta disminuirían tanto el consumo energético fósil como las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO, principalmente. La optimización de las ramas de Producción y distribución de energía eléctrica y la Extracción de combustibles también contribuiría a esta mejora. Otras emisiones de gases de efecto invernadero, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, podrían disminuir optimizando las labores agrícolas y el uso de agroquímicos. La mejora de los procesos de producción de los agroquímicos podría contribuir notablemente a la disminución de emisiones de N<sub>2</sub>O.

### **6.2.3 COMPARACIÓN DE LAS DOS METODOLOGÍAS APLICADAS A LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN ESPAÑA**

Una vez que se conocen los resultados obtenidos con la aplicación del ACV y del ACV –IO, en este apartado se analiza las diferencias más significativas entre ambas metodologías.

En teoría, cabría esperar resultados más elevados utilizando la metodología ACV –IO que utilizando la metodología del ACV, puesto que en esta última es necesario definir unos límites en el sistema de análisis, mientras que en la primera se consideran todos los procesos implicados en el sistema.

Los resultados obtenidos aplicando cada metodología al ciclo de vida de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se muestran en Figura 31 y Figura 32.

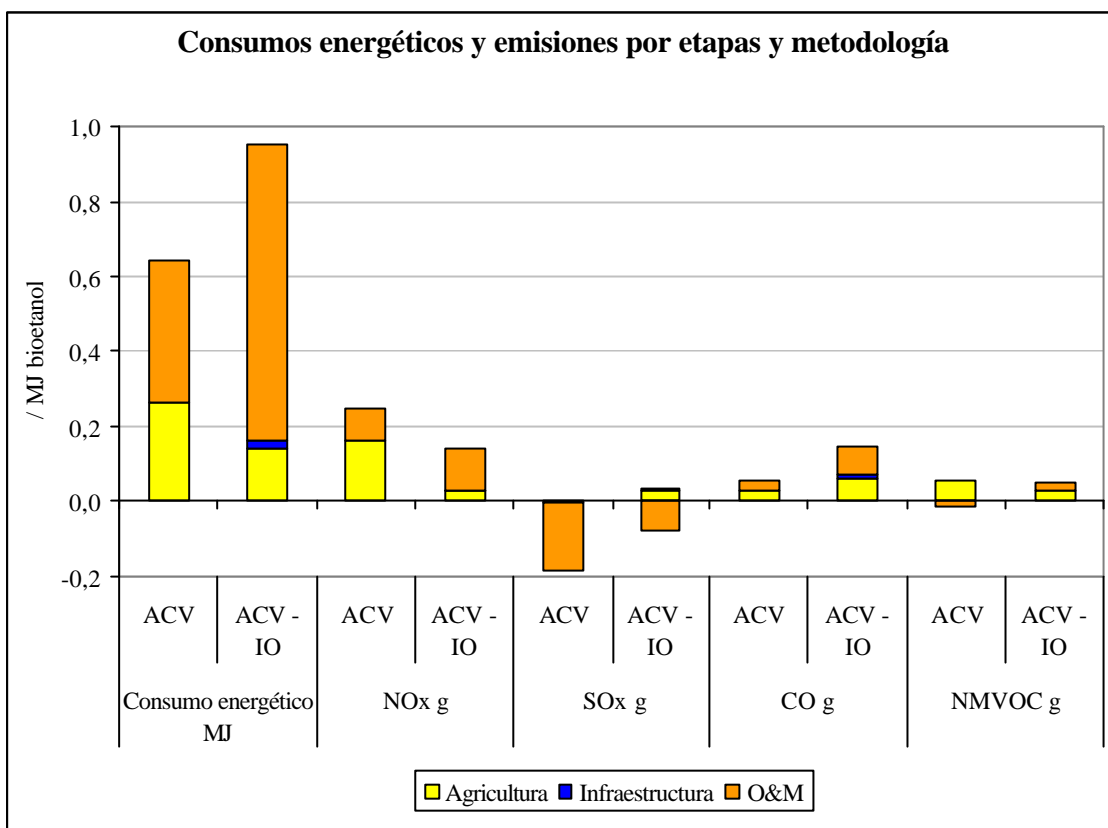


Figura 31: Consumos energéticos y emisiones por etapas y metodología

Como se observa en la Tabla 35, el consumo energético estimado mediante la metodología ACV –IO es superior al estimado mediante la metodología ACV. Según el ACV –IO se requiere el consumo de 0,95MJ por MJ de bioetanol a lo largo del ciclo de vida analizado, mientras que el ACV estima el consumo de 0,64 MJ.

Tabla 35: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO

Por MJ bioetanol	Total	Agricultura	Construcción	O&M
<b>Consumo energético MJ</b>	ACV	6,42E-01	2,59E-01	3,83E-01
	ACV - IO	9,49E-01	1,40E-01	2,09E-02
<b>NOx g</b>	ACV	2,48E-01	1,64E-01	8,44E-02
	ACV - IO	1,42E-01	2,76E-02	3,68E-03
<b>SOx g</b>	ACV	-1,84E-01	-3,09E-03	-1,81E-01
	ACV - IO	-4,19E-02	2,97E-02	6,50E-03
<b>CO g</b>	ACV	5,43E-02	3,07E-02	2,36E-02
	ACV - IO	1,44E-01	5,93E-02	1,03E-02
<b>COVNM g</b>	ACV	4,07E-02	5,68E-02	-1,62E-02

ACV - IO	5,00E-02	2,83E-02	1,87E-03	1,98E-02
----------	----------	----------	----------	----------

Si se analiza este consumo por etapas, se observa que en el caso de la etapa agrícola, la estimación del consumo de energía según el ACV, 0,26 MJ es superior al estimado por el ACV –IO, 0,14 MJ.

El ACV de la etapa agrícola se ha realizado a partir de datos de la producción de cebada, en la que se han tenido en cuenta las entradas y salidas al sistema, como el consumo de energía en el laboreo, la fabricación de agroquímicos, etc. Sin embargo, en el caso del ACV –IO no se ha realizado un análisis de la producción de cebada, sino que se ha demandado la cebada como un bien ya producido que entra en el sistema de análisis. El consumo energético que el ACV –IO estima debido a la demanda de cebada requerida representa el consumo energético de muy diversos bienes agregados. Así pues, la rama *Agricultura, ganadería y caza* del ACV –IO considera los consumos energéticos de la producción de cereales, frutas y verduras, pero además de actividades de pesca, la cría de ganado y caza entre otros. La agregación de la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza* puede explicar un resultado estimado del ACV –IO de consumo energético menor que el estimado por el ACV.

Para demostrar las diferencias entre los consumos energéticos de bs distintos bienes incluidos en esta rama, se ha utilizado la aplicación informática EIO-LCA<sup>10</sup> para Estados Unidos, de la Universidad Carnegie Mellon, Pittsburgh. Esta aplicación estima los consumos energéticos y emisiones para 491 ramas de actividad que componen la contabilidad nacional estadounidense. El grupo denominado *Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca* se desagrega en 18 ramas de actividad. Para mostrar la variabilidad de los resultados en función de las ramas que se escojan, se ha calculado el consumo energético para 6 de las 18.

---

<sup>10</sup> [www.eiolca.net](http://www.eiolca.net)



Los resultados se muestran en Tabla 36.

**Tabla 36: Consumos energéticos estimados para distintas demandas agrícolas mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos**

Rama de actividad – EIO/LCA USA	Consumo de energía TJ / millón de \$
Cultivo de caña de azúcar y remolacha azucarera	21,6
Cultivo de cereales	19,3
Cultivo de oleaginosas	14,8
Cultivo de verduras y melones	10,8
Producción en invernaderos y viveros	18,2
Caza	5,92

Como se observa en la tabla, existen importantes diferencias en el consumo energético de distintos bienes agrícolas. Los resultados de la demanda de la rama *Caza* son cuatro veces menores a los estimados para la rama de *Cultivo de caña de azúcar y remolacha azucarera*.

En el caso de la etapa de operación y mantenimiento, el consumo energético estimado mediante el ACV –IO, 0,79MJ, es superior al estimado por el ACV, 0,38. Como ya se mencionó anteriormente, el ACV –IO evita la necesidad de definir los límites del sistema, por lo que incluye en el análisis todas las relaciones entre las distintas ramas de actividad.

Con respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, el ACV estima la emisión de 0,25g por MJ de bioetanol mientras que el ACV –IO estima la emisión de 0,14g de NO<sub>x</sub>. Al analizar los resultados por etapas, se observa que nuevamente en la etapa agrícola, el ACV estima valores superiores al ACV –IO.

Nuevamente, la agregación de la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza* no permite una estimación representativa del cultivo de la cebada, sino del conjunto de bienes producido por esta rama.

Si se estiman las emisiones de NOx mediante el análisis EIO-LCA para los seis bienes mencionados en el caso del consumo energéticos se observa la variabilidad de resultados obtenidos.

**Tabla 37: Emisiones de NOx estimados para distintas demandas agrícolas mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos**

<b>Rama de actividad – EIO LCA USA</b>	<b>Emisiones de NOx t / millón de \$</b>
Cultivo de caña de azúcar y remolacha azucarera	7,19
Cultivo de cereales	4,71
Cultivo de oleaginosas	4,82
Cultivo de verduras y melones	2,92
Producción en invernaderos y viveros	2,10
Caza	1,61

En la Tabla 37 se observan las diferencias entre las emisiones de NOx estimadas para los bienes agrícolas seleccionados de la contabilidad nacional estadounidense. Las emisiones de NOx estimadas para la *Caza* son aproximadamente seis veces menores que las estimadas para el *Cultivo de caña de azúcar y remolacha azucarera*.

En este sentido, una mayor desagregación de la contabilidad nacional española y específicamente de la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza* permitiría obtener resultados más representativos del bien agrícola analizado.

En el caso de las emisiones de SOx, ambos análisis muestran que la producción de bioetanol a partir de cebada en España evita la emisión de SOx a la atmósfera. Sin embargo, las emisiones evitadas en el caso del ACV son mayores que las evitadas por el ACV –IO.

El ACV ha tenido en cuenta la producción de la paja como un co-producto del grano de cebada. Por ello, se ha realizado la extensión de los límites del sistema, obteniendo como resultado el ahorro de emisiones de SOx, ya que se evita la producción de heno de alfalfa. En el caso del ACV –IO, se lleva a cabo una aproximación distinta a la asignación. El grano de cebada se incorpora al ACV –IO como una demanda de un bien

definida por el precio de éste. En el ACV –IO sólo se incluye el precio del grano de cebada y no el conjunto de la producción agrícola –grano y paja –, de modo que no se realiza la extensión de los límites de los sistemas, pues los resultados sólo reflejan los impactos debidos al grano demandado. Esta diferencia de aproximación al tema de la asignación entre ambas metodologías en este caso trae como resultado la emisión de SOx y no el ahorro como en el caso del ACV.

Asimismo, en la etapa de operación y mantenimiento, las emisiones evitadas de SOx por la obtención de co-productos son mayores en el ACV que en el ACV –IO. Los resultados de esta etapa para cada análisis se presentan en la Tabla 23 y Tabla 31. Analizando con detalle la operación y mantenimiento, se observa que en el caso del ACV –IO, la obtención de electricidad como co-producto evita la emisión de 0,191 g de SOx, mientras que el ACV estima este ahorro en 0,188g. El resultado es inferior en el ACV ya que se han definido los límites del sistema, excluyendo del análisis procesos que podrían modificar los resultados. Lo mismo sucede en el caso de los DDGs, donde las emisiones de SOx evitadas según el ACV –IO son 9,99E-3 g, y según el ACV 5,81E-3. Sin embargo, el proceso de la elaboración de bioetanol origina emisiones de SOx. La estimación de éstas en el ACV –IO es superior, 0,12 g, a las estimadas por el ACV, 0,014 g, ya que el ACV excluye procesos del análisis al definir los límites del sistema. La estimación de menores emisiones debidas a la elaboración del bioetanol según el ACV da lugar a un mayor ahorro final de emisiones.

A lo largo del ciclo de vida de la producción de bioetanol, se emiten 5,43E-2 g de CO según el ACV y 1,44E-1 g según el ACV –IO por MJ de bioetanol. En todas las etapas, las emisiones estimadas por el ACV –IO son mayores que las del ACV, ya que el ACV –IO considera todas las relaciones entre ramas de actividad, evitando la definición de los límites del sistema.

Según el ACV –IO, a lo largo del ciclo de vida del bioetanol se emiten 0,05 g de COVNM mientras que el ACV estima las emisiones de COVNM en 0,04 g. Aunque el resultado total del ACV –IO es mayor que el estimado por el ACV, si se analizan los resultados por etapas destacan diferencias notables.

En la etapa agrícola, las emisiones de COVNM estimadas por el ACV son el doble que las estimadas por el ACV –IO. De igual modo que en los impactos anteriores, la agregación de la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza* no permite obtener resultados representativos para la producción de cebada.

Sin embargo, en la etapa de operación y mantenimiento, el ACV estima el ahorro de 0,016 g de COVNM, mientras que el ACV –IO estima la emisión de aproximadamente 0,02 g. En los apartados anteriores, se han analizado con detalle la etapa de operación y mantenimiento para ambas metodologías. En ambos casos, se ha realizado la extensión de los límites del sistema para la obtención de los DDGs y de la electricidad como co-productos. Las emisiones de COVNM evitadas según el ACV-IO al obtenerse electricidad como co-producto se estimaron en  $6,97E-3$  g por MJ de bioetanol, mientras que el ACV estimó un ahorro de emisiones menor,  $5,15E-3$  g. Al ser necesaria la definición de límites del sistema en el caso del ACV, la estimación de las emisiones evitadas es menor que en el caso del ACV –IO, pues muchos procesos son excluidos del análisis.

Sin embargo, en el caso de la producción de los DDGs ocurre lo contrario. Las emisiones de COVNM evitadas se estimaron en  $2,10E-2$  g según el ACV y  $9,5E-3$  g según el ACV –IO. Las emisiones evitadas se deben en ambos casos a la obtención de DDGs en el proceso de producción de bioetanol que evita la producción de trigo para pienso animal. Tanto en el ACV como en el ACV –IO, al realizar la extensión de los límites del sistema, se estiman los impactos debidos a la producción de trigo para pienso

animal a la que sustituirán los DDGs. Sin embargo, como se ha visto anteriormente, la estimación para los bienes agrícolas del ACV –IO puede infravalorar las estimaciones, ya que la rama *Agricultura, ganadería y caza* está formada por gran variedad de bienes, cuyas emisiones reales difieren mucho unas de otras. Es por esto, por lo que las emisiones evitadas de COVNM por los DDGs es mayor en el caso del ACV.

Por último se comparan los resultados obtenidos en relación a los gases de efecto invernadero. Las emisiones de gases de efecto invernadero estimadas para cada etapa y cada metodología se muestran en la Tabla 38 y en la Figura 32.

**Tabla 38: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO**

g CO2 eq. / MJ bioetanol		Total	Agricultura	Construcción	O&M
CO2	ACV	38,37	14,49	-	23,88
	ACV - IO	46,25	7,68	0,93	37,64
CH4	ACV	-1,06	0,36	-	-1,43
	ACV - IO	11,16	14,86	0,03	-3,73
N2O	ACV	10,61	23,41	-	-12,80
	ACV - IO	9,52	13,60	0,02	-4,09

Según el ACV se emiten 38,37 g de CO<sub>2</sub> por MJ de bioetanol a lo largo del ciclo de vida analizado, mientras que según el ACV –IO, se emiten 46,25 g de CO<sub>2</sub>, ya que el ACV –IO no excluye del análisis ningún proceso al no ser necesaria la definición de los límites del sistema.

Sin embargo, en la etapa agrícola, las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas por el ACV son aproximadamente el doble de las estimadas por el ACV –IO. En la Tabla 22 y Tabla 28 se muestran los resultados detallados de la etapa agrícola según el ACV y el ACV –IO respectivamente.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> según el ACV originadas por las labores agrícolas son 12,31g y 9,64g por la aplicación de agroquímicos. Estas emisiones se ubican en el ACV –IO dentro de la rama de actividad *Agricultura, ganadería y caza*, y se estimaron en 3,86g. Del mismo modo que en casos anteriores, la gran agregación de esta rama no permite estimar adecuadamente las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de cebada. Asimismo, el

ACV estimó la emisión de 6,20 g de CO<sub>2</sub> debidos a la fabricación de agroquímicos, sin embargo, el ACV –IO estimó 0,28 g de CO<sub>2</sub>.

La fabricación de agroquímicos está incluida en el ACV –IO dentro de la rama *Industria química*, en la que además están otros procesos de producción química como jabones, pinturas, fibras, plásticos, etc. Esta agregación de la *Industria química* evita obtener resultados representativos para algunos bienes de la rama. Las diferencias entre el análisis de la fabricación de agroquímicos y de otros productos químicos se muestran en la Tabla 39, tomada de la herramienta EIO-LCA de Estados Unidos.

**Tabla 39: Emisiones de CO<sub>2</sub> estimados para distintas demandas de productos químicos el análisis EIO-LCA de Estados Unidos**

<b>Rama de actividad – EIO-LCA USA</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> t / millón de \$</b>
Fabricación de fertilizantes nitrogenados	5950
Fabricación de material plástico y resinas	1350
Fabricación de pinturas	972
Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos	886
Fabricación de jabones y detergentes	666

En la tabla se observa que las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden ser muy diferentes en función del bien que se esté analizando. Las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la producción de un millón de dólares de jabones son casi nueve veces inferiores a las estimadas para la producción de fertilizantes nitrogenados. La posibilidad de contar con una mayor desagregación de las ramas de actividad de la contabilidad nacional española mejoraría la estimación de impactos para ciertos bienes como los productos agroquímicos.

En cuanto a la etapa de operación y mantenimiento, las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas por el ACV –IO son mayores que las estimadas por el ACV, ya que éste último excluye del análisis procesos que pueden ser significativos en los resultados.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> para el ciclo de vida del bioetanol se estimaron en 11,16 g CO<sub>2</sub> equiv. por MJ de bioetanol según el ACV –IO, mientras que el ACV estimó el ahorro de 1,06 g de CO<sub>2</sub> equiv. por MJ de bioetanol. El origen de esta diferencia es la etapa

agrícola. Las emisiones de CH<sub>4</sub> estimadas por el ACV –IO en esta etapa son dos órdenes de magnitud superior a las estimadas por el ACV. Además, cabe recordar que en el ACV –IO no se ha llevado a cabo la extensión de los límites del sistema en la etapa agrícola, pues se ha realizado previamente una aproximación distinta a la asignación. Por otro lado, las emisiones evitadas por la obtención de co-productos en la etapa de operación y mantenimiento de la planta son mayores en el ACV –IO que en el ACV, ya que en este último se excluyen procesos del análisis al definir los límites del sistema.

Finalmente, se han analizado las emisiones de N<sub>2</sub>O a lo largo del ciclo de vida. Como se observa en la Figura 32, las estimaciones del ACV –IO para cada etapa son menores que los resultados del ACV.

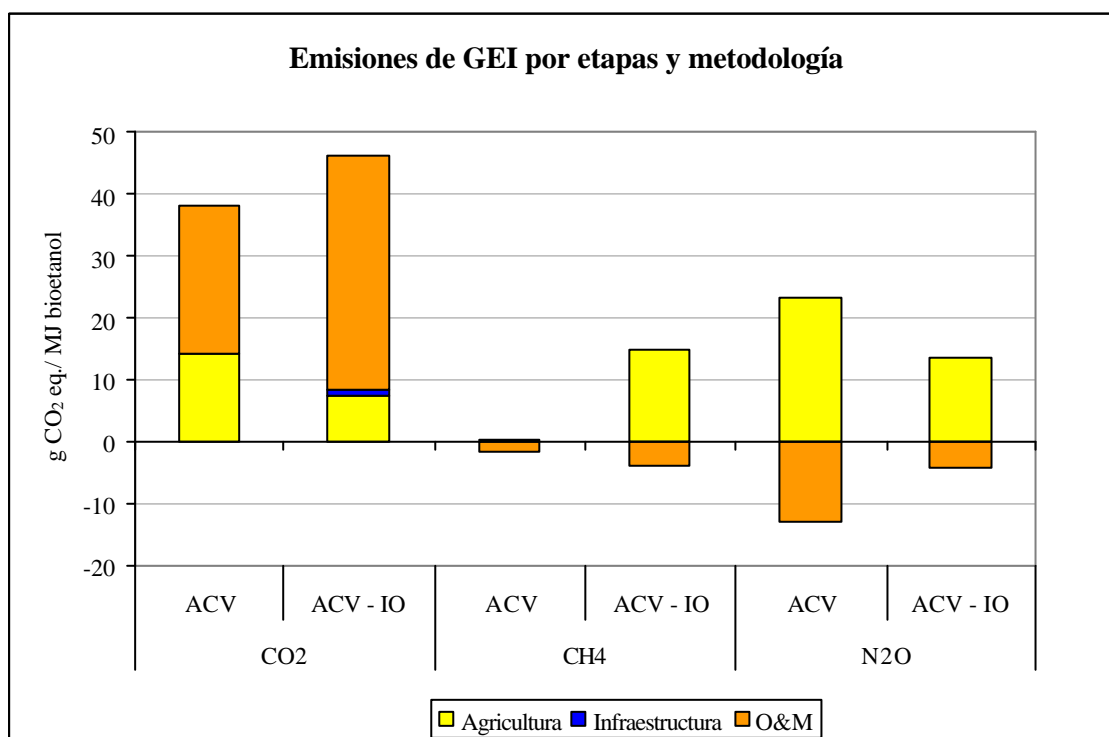


Figura 32: Emisiones de GEI por etapas y metodología

En la etapa agrícola, las emisiones de N<sub>2</sub>O en el ACV se deben principalmente a los agroquímicos. La aplicación de agroquímicos y las labores agrícolas originan 2,88E-2 g y 1,52E-2 g de N<sub>2</sub>O por MJ de bioetanol según el ACV, mientras que el ACV –IO estimó estas emisiones en 4,50E-2 g de N<sub>2</sub>O, que corresponden a las emisiones originada por la rama *Agricultura, ganadería y caza*. Sin embargo, el ACV estimó en 3,47E-2 g las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a la fabricación de estos agroquímicos, cantidad muy superior a la estimada por el ACV –IO para la *Industria química*, 2,78E-4 g de N<sub>2</sub>O por MJ de bioetanol. Del mismo modo que en el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la agregación de la rama *Industria química* evita la correcta estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a la fabricación de agroquímicos. Para constatar la variabilidad de resultados en función del bien analizado, se han estimado las emisiones de N<sub>2</sub>O con la herramienta EIO-LCA de Estados Unidos para varios productos químicos. Los resultados se muestran en la Tabla 40.

**Tabla 40: Emisiones de N<sub>2</sub>O estimados para distintas demandas de productos químicos mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos**

<b>Rama de actividad – EIO-LCA USA</b>	<b>Emisiones de N<sub>2</sub>O t de CO<sub>2</sub> equiv. / millón de \$</b>
Fabricación de fertilizantes nitrogenados	6080
Fabricación de material plástico y resinas	74,9
Fabricación de pinturas	61,9
Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos	113
Fabricación de jabones y detergentes	62,6

Es necesario destacar la gran variabilidad de resultados obtenidos. La fabricación de pinturas emite 61,9 t de CO<sub>2</sub> equiv. por millón de \$, menos de 100 veces lo emitido por la fabricación de fertilizantes nitrogenados, estimado por el EIO-LCA en 6080 t de CO<sub>2</sub> equiv. La agregación de la rama *Industria química* es un factor limitante en la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O mediante el ACV –IO.

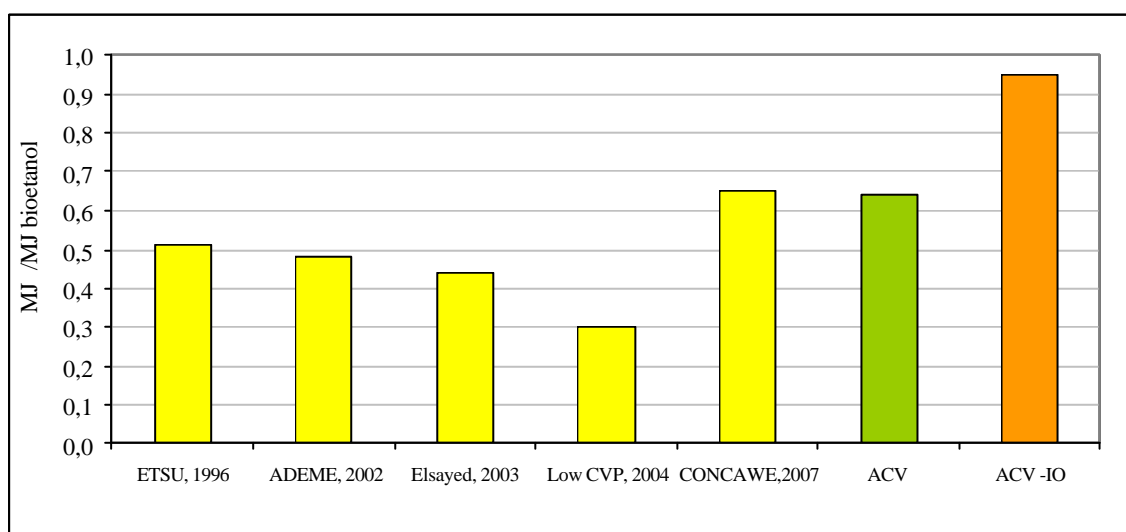
Esta misma razón justifica los resultados de las emisiones de N<sub>2</sub>O en la etapa de operación y mantenimiento. En ambos análisis se ha realizado la extensión de los



límites del sistema debido a la obtención de DDGs y electricidad. Sin embargo, el ahorro de emisiones de  $N_2O$  obtenido en el ACV al evitar la producción de trigo es mucho mayor que el obtenido en el ACV -IO por la misma razón por la que en la etapa agrícola las emisiones de  $N_2O$  eran mayores para el ACV.

### 6.2.3.1 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS PUBLICADOS

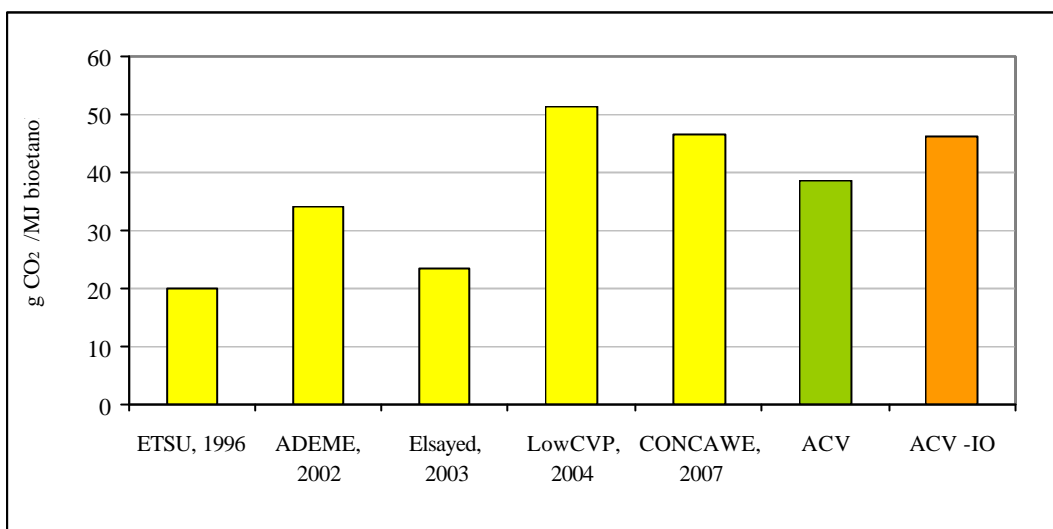
En la Figura 33 se muestra el consumo energético estimado por otros estudios publicados en la literatura científica de ACV de bioetanol de cebada. El consumo energético varía entre 0,30 MJ estimados en el estudio de LowCVP (LOWCVP, 2004) y 0,65 MJ estimados en el estudio de CONCAWE, (Edwards, R. et al., 2007) por MJ de bioetanol producido. La figura muestra en verde el consumo energético estimado en esta tesis doctoral con la metodología ACV, 0,64 MJ y en naranja con la metodología ACV -IO, 0,95 MJ por MJ de bioetanol.



**Figura 33: Consumo energético de la producción de bioetanol de trigo en otras fuentes consultadas**

En cuanto a las emisiones de  $CO_2$  del ciclo de vida del bioetanol de cebada, los valores en la literatura oscilan entre 20 g de  $CO_2$  por MJ de bioetanol producido estimados por

Gover (Gover et al., 1996) y 51 g estimados en el estudio de LowCVP (LOWCVP, 2004).



**Figura 34: Emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de bioetanol de trigo en otras fuentes consultadas**

Baral y Bakshi realizaron un estudio del ciclo de vida del bioetanol de maíz y la gasolina a distintas mezclas utilizando de manera conjunta el ACV y la herramienta EIO-LCA (Baral and Bakshi, 2006). El consumo energético estimado para el ciclo de vida del etanol, incluido el uso varía entre 0,70 MJ y 1,35 MJ por MJ de bioetanol en función de los métodos de asignación para los co-productos. Las emisiones de gases de efecto invernadero sin incluir la etapa de uso alcanzan alrededor de 22,28 g por MJ de bioetanol.

Son pocos los estudios que utilizan el ACV -IO para analizar los impactos medioambientales y socioeconómicos de la producción de bioetanol. Urbanchuk estimó la actividad económica generada en Estados Unidos en el año 2004 en 0,051\$ por MJ de bioetanol de maíz producido, y la generación de 5,37E-10 nuevos empleos por MJ de bioetanol (Urbanchuk, 2006).

### **6.3 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA PLANTA TERMOSOLAR**

Los impactos asociados a la producción de electricidad en la planta termosolar estudiada se han estimado mediante dos metodologías distintas: (i) ACV y (ii) ACV-IO.

En los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos con cada metodología y la comparación de los mismos.

#### **6.3.1 ACV**

Se han estimado, mediante la metodología de ACV los siguientes impactos:

- Consumo energético
- Emisiones de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>
- Otras emisiones atmosféricas: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM.

El análisis de los impactos se ha llevado a cabo para cada etapa incluida en el ACV. Los resultados se presentan para el conjunto del ciclo de vida, así como para las siguientes etapas: (i) componentes de la planta solar, (ii) construcción y (iii) operación y mantenimiento.

La unidad funcional a la que se refieren todos los resultados es 1 kWh producido y suministrado a la red nacional.

La etapa denominada Planta solar considera los impactos debidos a la adquisición y fabricación de los componentes de la planta solar. La etapa llamada construcción tiene en cuenta tanto los transportes utilizados para hacer acopio de los componentes de la planta como la maquinaria utilizada durante la construcción de la misma. Por último, la etapa de operación y mantenimiento tiene en cuenta los consumos de energía y materias necesarios a lo largo de la vida útil de la planta.

En la Tabla 41 se muestran los resultados del consumo de energía y emisiones estimados para la producción de 1 kWh de electricidad.

**Tabla 41: Resultados ACV por kWh de electricidad**

Por kWh	TOTAL	Planta Solar	Construcción	O & M
Consumo de energía MJ	2,93	2,35E-01	2,74E-02	2,67
CO <sub>2</sub> g	159,84	1,45E+01	1,61	1,44E+02
N <sub>2</sub> O g	0,04	3,35E-02	4,98E-05	1,63E-03
CH <sub>4</sub> g	0,64	3,38E-02	1,81E-03	6,00E-01
NO <sub>x</sub> g	0,21	4,51E-02	1,28E-02	1,57E-01
SO <sub>x</sub> g	0,37	4,81E-02	5,98E-03	3,19E-01
CO g	0,17	9,38E-02	3,79E-03	7,12E-02
COVNM g	0,05	5,76E-03	1,96E-03	3,96E-02

La producción de 1 kWh de electricidad supone el consumo de 2,93 MJ a lo largo del ciclo de vida considerado. El consumo de energía asociado a la fabricación y adquisición de los componentes de la planta solar contribuye con menos del 10% al consumo de energía total, mientras que la etapa de operación y mantenimiento supone el 90% de la energía total requerida.

A lo largo del ciclo, se emiten 160 g de CO<sub>2</sub>, de los cuales 144 g se generan en la etapa de operación y mantenimiento, 14,5 g debidos a los componentes de la planta solar y alrededor de 1,6 g durante la construcción de la planta.

Las emisiones de N<sub>2</sub>O durante el ciclo de vida se han estimado en 0,04 g, de los que más del 90% son debidos a los componentes de la planta solar. La etapa de operación y mantenimiento emite 0,002 g por kWh de electricidad.

Con respecto a las emisiones de CH<sub>4</sub>, se ha estimado la emisión de 0,64 g a lo largo de la vida útil. La operación y mantenimiento es la etapa con mayores emisiones de CH<sub>4</sub>, 0,6 g, seguida de los componentes de la planta solar que emiten 0,034 g.

La producción de 1 kWh de electricidad emite 0,21 g de NO<sub>x</sub> a lo largo del ciclo de vida analizado. La fabricación y adquisición de los componentes de la planta solar contribuye en más del 20% a las emisiones totales, 0,045 g de NO<sub>x</sub>. La operación y

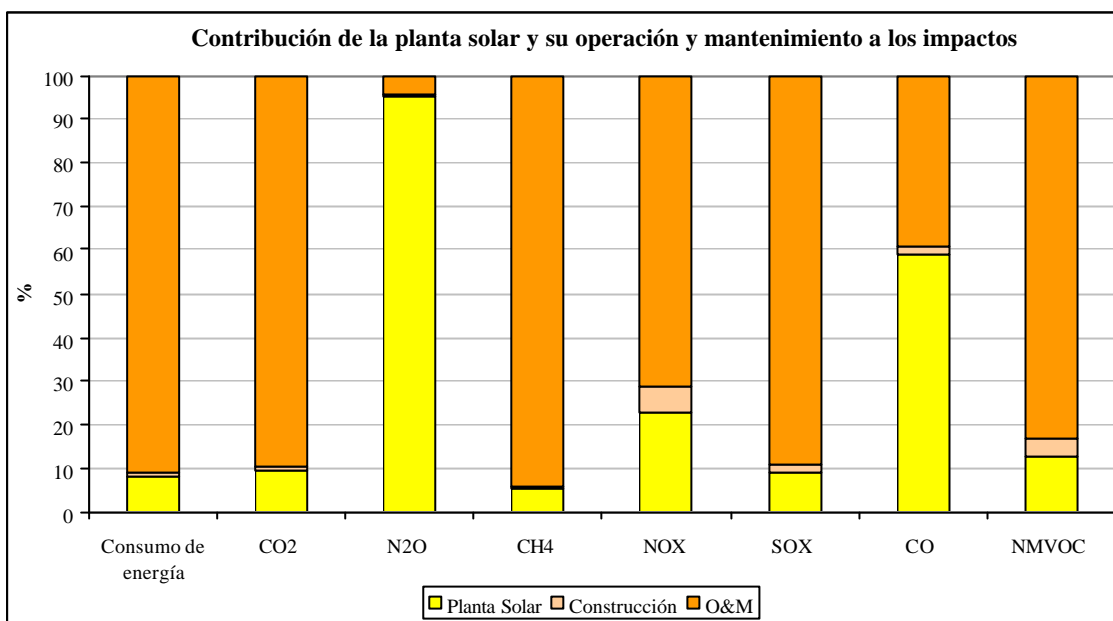
mantenimiento de la planta solar contribuye alrededor del 70% a las emisiones totales de NOx, mientras que la etapa de construcción de la infraestructura supone menos del 10% de las emisiones en el ciclo de vida.

A lo largo del ciclo de vida, se emiten 0,37 g de SOx. La operación y mantenimiento de la planta solar emite 0,32g, alrededor del 90% de las emisiones totales. Los componentes de la planta solar y la construcción de la planta emiten 0,048g y 0,006g aproximadamente lo que suponen menos del 10% y el 1,5% de las emisiones de SOx totales, respectivamente.

En cuanto a las emisiones de CO, se generan 0,17g a lo largo del ciclo de vida, de los que alrededor del 55% se asocian a los componentes de la planta solar y el 40% a la etapa de operación y mantenimiento. La etapa de construcción supone algo más del 2% de las emisiones totales de CO.

Por último, se han estimado las emisiones de COVNM a lo largo del ciclo de vida. La producción de 1 kWh de electricidad emite 0,05 g de COVNM, de los que el 80% se emite durante la etapa de operación y mantenimiento. La adquisición y fabricación de los componentes de la planta solar emite 0,006 g de COVNM, el 12% de las emisiones totales. La etapa de construcción supone la emisión de 0,002 g de COVNM, menos del 5% de las emisiones totales.

En la Figura 35 se muestra el porcentaje de contribución de cada etapa analizada a los impactos.



**Figura 35: Porcentaje de contribución por etapas a los impactos**

• **Planta Solar**

A continuación se presentan los impactos estimados asociados a los siguientes componentes de la planta solar:

- Campo solar: consta de 624 colectores cilindro-parabólicos, cada uno de ellos con un tubo absorbedor por el que fluye el aceite térmico.
- Bloque de potencia: formado por la turbina y el generador de vapor.
- Edificios
- Sistema de Almacenamiento: formado por dos tanques de acero aislados que contienen sales fundidas como medio de almacenamiento de calor.

Los impactos estimados asociados a los componentes de la planta solar se muestran en la Tabla 42.

**Tabla 42: Resultados de los componentes de la planta solar**

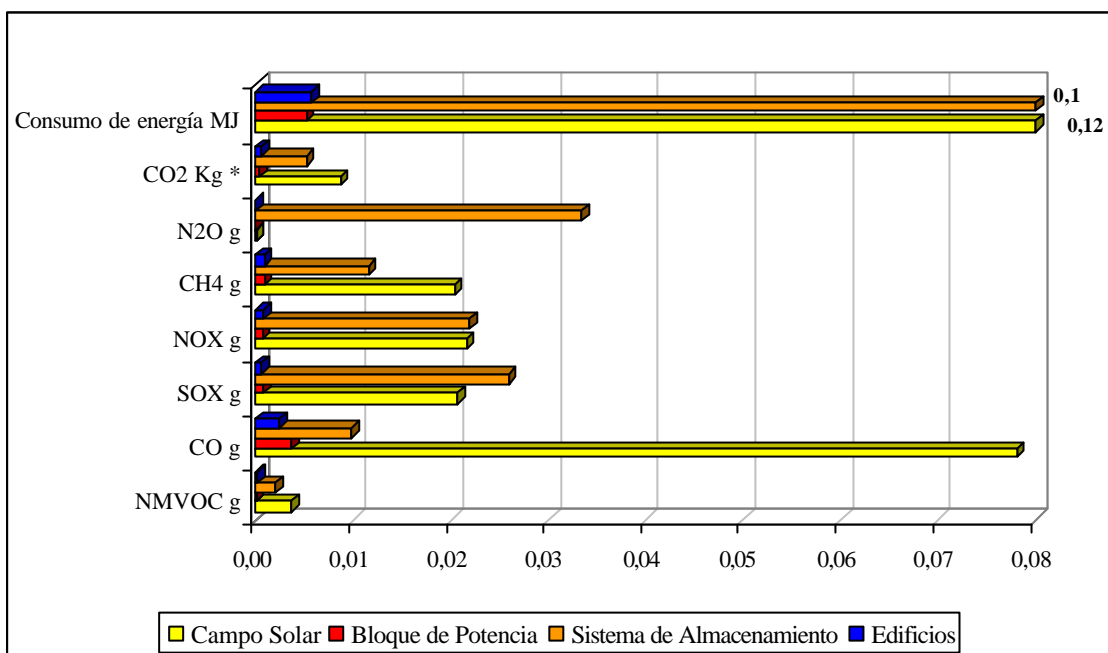
Por kWh	Total	Campo Solar	Bloque de Potencia	Edificios	Sistema Almacenamiento
Consumo de energía MJ	0,26	1,22E-01	5,12E-03	5,68E-03	0,1024
CO <sub>2</sub> g	16,10	8,62E	3,08E-01	4,80E-01	5,08
N <sub>2</sub> O g	0,03	7,92E-05	4,64E-06	3,93E-06	3,34E-02
CH <sub>4</sub> g	0,04	2,05E-02	9,19E-04	8,81E-04	1,16E-02
NO <sub>x</sub> g	0,06	2,16E-02	6,87E-04	8,35E-04	2,20E-02
SO <sub>x</sub> g	0,04	2,07E-02	8,38E-04	5,76E-04	2,59E-02
CO g	0,11	7,80E-02	3,64E-03	2,46E-03	9,73E-03
COVNM g	0,01	3,56E-03	1,24E-04	1,56E-04	1,92E-03

El campo solar es el componente que más energía requiere, 0,12 MJ por kWh de electricidad, seguido del sistema de almacenamiento, que consume 0,10 MJ. Los requerimientos energéticos del bloque de potencia y los edificios son similares, 0,005 MJ y 0,006 MJ, respectivamente.

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, aproximadamente el 50 % de éstas están asociadas al campo solar, 8,6 g. El sistema de almacenamiento emite más de 5 g de CO<sub>2</sub> por kWh de electricidad, mientras que el bloque de potencia y los edificios emiten entre 0,3 g y 0,5 g de CO<sub>2</sub>.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, estimadas en 0,03 g para el conjunto de los componentes de la planta solar, el sistema de almacenamiento supone casi el 100% de estas emisiones.

La estimación de los impactos para cada componente de la planta también se puede observar en la Figura 36.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 36: Consumo de energía y emisiones de los componentes de la planta solar**

Las emisiones de CH<sub>4</sub> asociadas al conjunto de componentes de la planta solar se han estimado en 0,04 g. Las etapas que más contribuyen a estas emisiones son el campo solar, que emite 0,02 g de CH<sub>4</sub>, y el sistema de almacenamiento, que emite 0,012 g.

Asimismo, se estimaron las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>. La adquisición y fabricación de los componentes emite 0,06 g de NO<sub>x</sub> de los cuales más del 50% se deben al sistema de almacenamiento y más del 40% al campo solar. Las emisiones de SO<sub>x</sub> se estimaron en 0,04 g para el conjunto de los componentes de la planta solar.

La generación de 1 kWh de electricidad en la planta emite 0,11 g de CO asociados a los componentes de la planta solar. El campo solar es el componente que más contribuye a estas emisiones, 0,078 g de CO, seguido del sistema de almacenamiento, 0,0097 g.



Por último, se ha estimado la emisión de 0,01 g de COVNM asociados a los componentes de la planta solar, principalmente debidos al campo solar y al sistema de almacenamiento, que generan 0,0036 g y 0,0019 g respectivamente.

El ACV permite no solo obtener los resultados de los impactos ambientales asociados a los componentes de la planta solar, sino que también permite analizar con mayor detalle cada uno de estos componentes, pudiendo así identificar los más relevantes para cada impacto.

- **Campo Solar**

Como se ha descrito anteriormente, el campo solar está formado por receptores cilindro-parabólicos. Estos captadores se sostienen gracias a una estructura metálica anclada a la tierra. Los captadores son atravesados por un tubo absorbedor rodeado de getters, elementos que mantienen el vacío en el tubo, por cuyo interior fluye el aceite térmico. La función del tubo es absorber la radiación redirigida por los captadores y transmitirla al aceite térmico.

En la Tabla 43 se muestran los impactos estimados para cada uno de los componentes del campo solar.

**Tabla 43: Resultados de los impactos por componentes del campo solar**

Por kWh	Total	Captador	Tubo absorbedor	Getters	Estructura metálica	Cimientos del captador	Aceite térmico
Consumo de energía MJ	0,12	1,94E-02	5,53E-03	2,95E-06	5,88E-02	2,91E-02	8,90E-03
CO <sub>2</sub> g	8,62	8,60E-01	3,41E-01	1,65E-04	3,50E+00	3,67E+00	2,60E-01
N <sub>2</sub> O g	7,92E-05	1,25E-05	6,09E-06	1,96E-09	3,85E-05	2,03E-05	1,91E-06
CH <sub>4</sub> g	2,05E-02	1,96E-03	8,05E-04	5,81E-07	1,11E-02	5,05E-03	1,50E-03
NO <sub>x</sub> g	2,16E-02	5,87E-03	8,62E-04	3,99E-07	7,57E-03	6,87E-03	4,43E-04
SO <sub>x</sub> g	2,07E-02	7,70E-03	1,15E-03	4,01E-07	7,74E-03	3,53E-03	5,91E-04
CO g	7,80E-02	1,25E-03	1,36E-03	2,92E-06	5,83E-02	1,67E-02	3,62E-04
COVNM g	3,56E-03	4,54E-04	1,26E-04	3,94E-08	1,64E-03	1,07E-03	2,58E-04

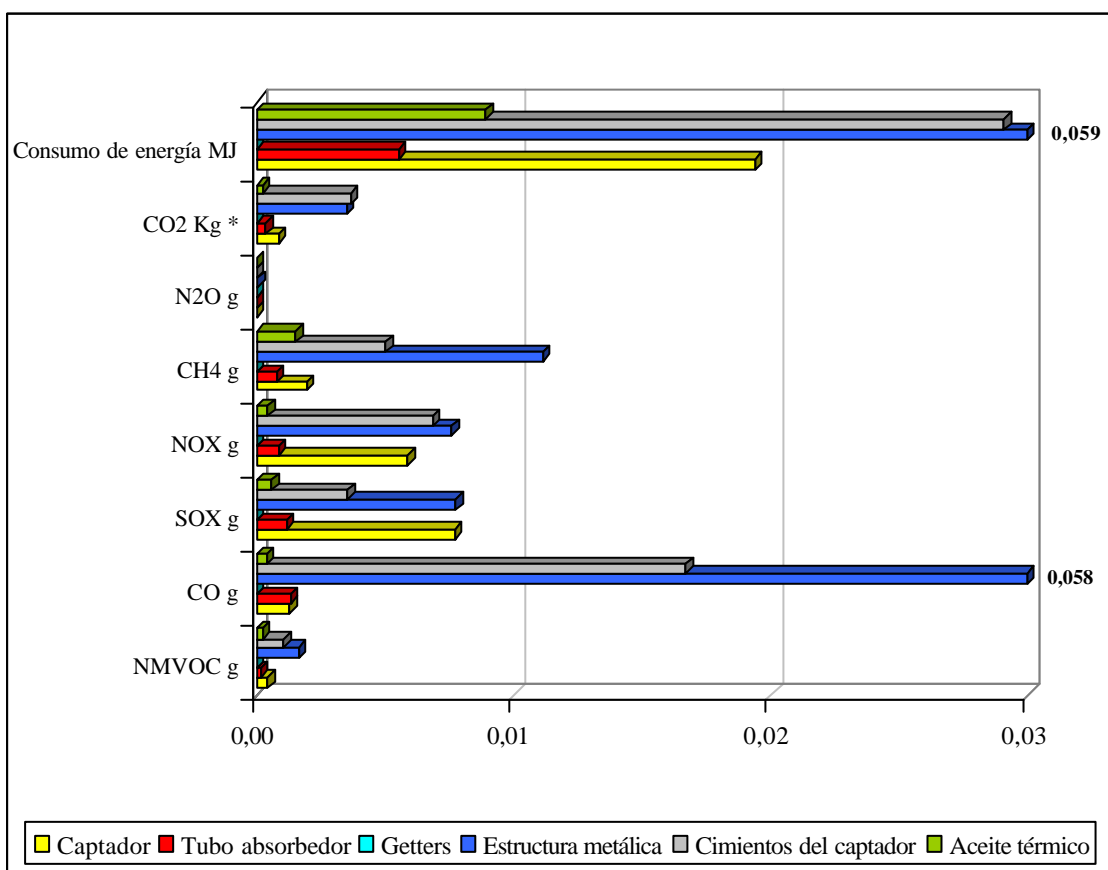
En lo referente a la energía, la estructura metálica requiere 0,059 MJ por kWh de electricidad, que supone aproximadamente el 50% del consumo de energía total. Los cimientos del captador requieren más del 20% de la energía total consumida. El colector

consume 0,019 MJ por kWh de electricidad, el 15% de la energía requerida por el campo solar.

El campo solar emite 8,62 g de CO<sub>2</sub> por kWh de electricidad, de los que más del 42 % se debe a los cimientos del captador, el 40 % a la estructura metálica y el 10 % al propio captador.

Aproximadamente el 50% de las emisiones de N<sub>2</sub>O están asociadas a la estructura metálica del captador y el 25% a los cimientos. La contribución de estos elementos a las emisiones de CH<sub>4</sub> sigue la misma proporción que en las emisiones de N<sub>2</sub>O.

En la Figura 37 se muestran los impactos estimados para cada componente del campo solar.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 37: Consumo de energía y emisiones de cada componente del campo solar**

Los componentes del campo solar generan 0,02 g de NOx, de los que más del 35% se deben a la estructura metálica y aproximadamente el 30% a los cimientos del captador. El captador emite 0,006 g de NOx, que representa el 27% de las emisiones totales, mientras que el tubo absorbedor y el aceite térmico contribuyen con menos del 4% y el 2% a las emisiones totales.

Las emisiones de SOx del campo solar se han estimado en 0,02 g. El captador y la estructura metálica suponen la emisión de 0,0077g de SOx cada uno. Las emisiones de SOx debidas a los cimientos del captador y al tubo absorbedor se han estimado en 0,0035 g y 0,001 g respectivamente.

En referencia a las emisiones de CO, el campo solar genera 0,08 g. La estructura metálica contribuye con el 75% a las emisiones totales, seguida de los cimientos que representa el 20% del total.

Se ha estimado la emisión de COVNM para el campo solar en 0,03g. La estructura metálica es responsable de la emisión de 0,016 g de NOx, más del 45% respecto al total, mientras que los cimientos del captador provocan la emisión de 0,01 g. El captador representa el 12% de las emisiones de COVNM del campo solar. El aceite térmico emite 2,5E-4 g, aproximadamente el 7% de las emisiones totales de COVNM.

Así pues, la estructura metálica y los cimientos son materiales que contribuyen de manera muy importante al consumo energético y emisiones en el campo solar. Ambos elementos tienen un alto contenido de acero en su composición, que según el ACV, contribuye mayoritariamente a los impactos de estos dos componentes. Si se analiza con más profundidad el origen de estos impactos para el acero, el ACV identifica que se deben principalmente a que en los procesos de producción de acero hay un alto consumo de combustibles fósiles. Este consumo y la extracción por lo tanto de estos

combustibles son la fuente principal de los impactos debidos a la estructura metálica y a los cimientos de los captadores.

- **Bloque de potencia**

Se han estimado los impactos para cada elemento del bloque de potencia. Los resultados se muestran en la Tabla 44.

**Tabla 44: Resultados de los impactos por componente del bloque de potencia**

Por kWh	Total	Generador vapor	Turbina vapor	Condensador	Percal/Desgas*	Tuberías	Torre de refrigeración
<b>Consumo de energía MJ</b>	5,12E-03	2,28E-03	1,19E-03	1,20E-04	1,39E-04	1,18E-03	2,16E-04
<b>CO<sub>2</sub> g</b>	3,08E-01	1,35E-01	7,24E-02	7,11E-03	8,25E-03	6,96E-02	1,60E-02
<b>N<sub>2</sub>O g</b>	4,64E-06	1,50E-06	1,30E-06	7,76E-08	9,00E-08	1,53E-06	1,42E-07
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	9,19E-04	4,27E-04	1,89E-04	2,27E-05	2,64E-05	2,14E-04	4,02E-05
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	6,87E-04	2,89E-04	1,84E-04	1,54E-05	1,78E-05	1,47E-04	3,29E-05
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	8,38E-04	2,96E-04	2,97E-04	1,56E-05	1,81E-05	1,84E-04	2,77E-05
<b>CO g</b>	3,64E-03	2,20E-03	5,99E-04	1,20E-04	1,39E-04	3,91E-04	1,96E-04
<b>COVNM g</b>	1,24E-04	6,29E-05	3,14E-05	3,35E-06	3,89E-06	1,60E-05	6,47E-06

\* Precalentadores y desgasificadores.

El componente que mayor energía requiere es el generador de vapor, el 42% del consumo total, estimado en 5,12E-3 MJ por kWh de electricidad generada. La turbina de vapor y las tuberías contribuyen un 23% del consumo de energía cada una.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> para el bloque de potencia se estiman en 0,31 g, de los que 0,13 g provienen del generador de vapor y 0,07 g de la turbina de vapor. El sistema de tuberías es responsable de más del 20% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, mientras que la torre de refrigeración contribuye con un 5% del total emitido.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, el generador de vapor y el sistema de tuberías suponen cada uno el 32% del total emitido por el bloque de potencia. La turbina de vapor genera 1,3E-6 g de N<sub>2</sub>O.

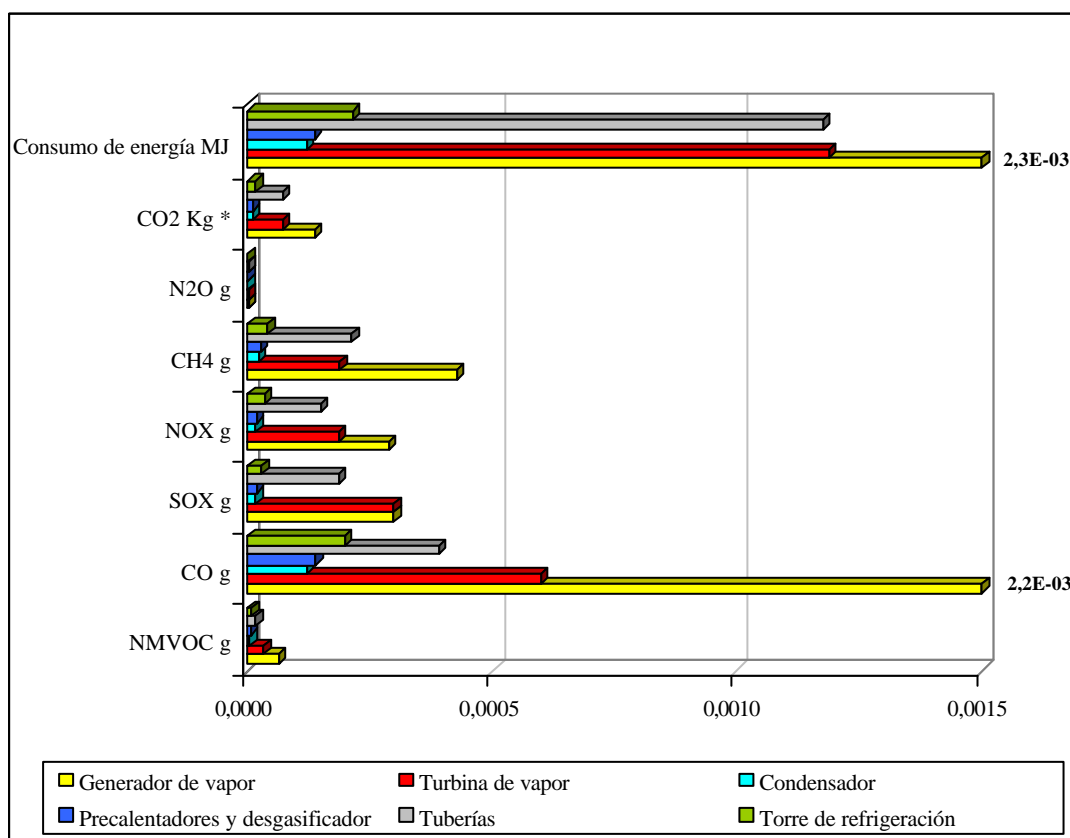
El bloque de potencia supone la emisión de 9,2E-4 g de CH<sub>4</sub>, de los cuales más del 45% son debidos al generador de vapor. El sistema de tuberías emite 2,1E-4 g de CH<sub>4</sub>, el

23% del total emitido. Las emisiones de CH<sub>4</sub> debidas a la turbina de vapor representan el 20% del total.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> para el bloque de potencia se han estimado en 6,87E-4 g. Más del 40% de ellas proviene del generador de vapor, seguidas de la turbina de vapor y el sistema de tuberías que contribuyen en el 26% y 21% respectivamente. La torre de refrigeración provoca la emisión de 3,3E-5 g de NO<sub>x</sub>.

Del mismo modo, el generador de vapor y la turbina contribuyen más del 35% cada uno a las emisiones de SO<sub>x</sub> del bloque de potencia. El sistema de tuberías emite 1,8E-4 g de SO<sub>x</sub>, el 21% de las emisiones totales de SO<sub>x</sub> para el bloque.

La Figura 38 muestra los resultados de los impactos considerados por componentes del bloque de potencia.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 38: Consumo de energía y emisiones de cada componente del bloque de potencia**

En cuanto a las emisiones de CO y COVNM, en ambos casos el componente que más contribuye a estas emisiones es el generador de vapor, que representa más del 60% de las emisiones de CO del bloque de potencia y más del 50% de las emisiones de COVNM. La turbina de vapor emite 5,99E-4 g de CO y 3,14E-5 g de COVNM.

- **Sistema de Almacenamiento**

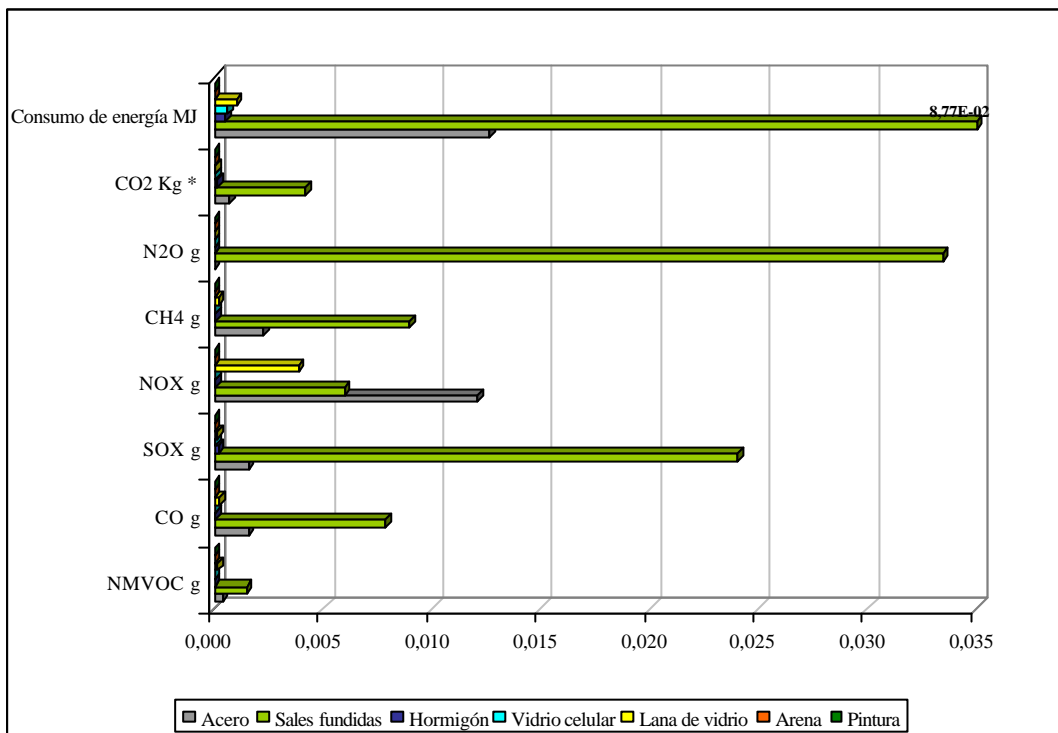
El sistema de almacenamiento de la planta termosolar está formado por dos tanques de acero aislados del exterior con varios materiales y en cuyo interior se almacenan las sales fundidas.

En la Tabla 45 se muestra la contribución de cada elemento del sistema de almacenamiento a los impactos estimados.

**Tabla 45: Resultados de los impactos por componente del sistema de almacenamiento**

Por kWh	Total	Acero	Sales fundidas	Hormigón	Vidrio celular	Lana de vidrio	Arena	Pintura
<b>Consumo de energía MJ</b>	1,02E-01	1,26E-02	8,77E-02	5,12E-04	5,72E-04	9,63E-04	7,03E-06	2,49E-06
<b>CO2 g</b>	5,08	7,15E-01	4,17	9,29E-02	3,18E-02	7,10E-02	4,22E-04	1,22E-04
<b>N2O g</b>	3,34E-02	7,80E-06	3,34E-02	3,65E-07	7,83E-07	1,05E-06	5,29E-09	3,74E-09
<b>CH4 g</b>	1,16E-02	2,29E-03	8,96E-03	7,77E-05	6,85E-05	1,96E-04	4,07E-07	2,25E-07
<b>NOx g</b>	2,20E-02	1,21E-02	5,95E-03	8,27E-05	2,61E-05	3,87E-03	3,03E-07	4,60E-08
<b>SOx g</b>	2,59E-02	1,55E-03	2,40E-02	1,66E-04	8,22E-05	1,09E-04	8,44E-07	2,48E-07
<b>CO g</b>	9,73E-03	1,57E-03	7,84E-03	5,55E-05	2,85E-05	2,31E-04	6,21E-07	7,43E-07
<b>COVNM g</b>	1,92E-03	3,37E-04	1,44E-03	2,23E-05	1,44E-05	1,05E-04	2,46E-07	1,32E-07

Como se observa en la Figura 39, las sales fundidas son el componente que más contribuye a todos los impactos analizados, excepto en el caso de las emisiones de NOx, en las que el acero provoca la emisión de 0,12 g, el 54% del total de NOx emitido.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 39: Consumo de energía y emisiones por componentes del sistema de almacenamiento**

- **Construcción de la infraestructura**

En la etapa de la construcción de la infraestructura de la planta termosolar se han considerado el uso de camiones de distintos tonelajes para el transporte de los materiales y componentes necesarios, así como el uso de maquinaria de construcción.

En la Tabla 41 se muestran los impactos estimados debidos a la construcción de la infraestructura. La contribución de esta etapa al total de los impactos se muestra en la Figura 35. La construcción de la planta contribuye más relevantemente a las emisiones de NOx, de las que es responsable del 6%, y a las emisiones de COVNM, que emite el 4% del total.

- **Operación y Mantenimiento**

La contribución de la etapa de operación y mantenimiento de la planta a los impactos totales analizados es importante, como se muestra en la Figura 35.

La operación de la planta requiere el consumo de electricidad, gas natural para el mantenimiento de la temperatura de las sales fundidas y como combustible de apoyo, agua principalmente para el sistema de refrigeración, así como otros elementos que será necesario reemplazar como parte del aceite térmico, recubrimientos, espejos, etc.

Los impactos estimados para la etapa de operación y mantenimiento de la planta por kWh de electricidad se muestran en la Tabla 46.

**Tabla 46: Resultados de los impactos por componente de la operación y mantenimiento**

Por kWh	Total	Gas Natural	Electricidad	Agua	Químicos	Otros componentes
<b>Consumo de energía MJ</b>	2,67	2,37	2,78E-01	1,54E-02	5,09E-03	1,34E-04
<b>CO<sub>2</sub> g</b>	1,44E+02	1,00E+02	4,06E+01	2,43E+00	7,38E-01	2,14E-02
<b>N<sub>2</sub>O g</b>	1,63E-03	1,12E-03	3,78E-04	1,11E-04	1,64E-05	3,03E-07
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	6,00E-01	4,48E-01	1,45E-01	4,57E-03	2,40E-03	4,88E-05
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	1,57E-01	7,10E-02	7,90E-02	5,12E-03	1,41E-03	1,48E-04
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	3,19E-01	6,69E-02	2,34E-01	1,49E-02	3,48E-03	1,93E-04
<b>CO g</b>	7,12E-02	5,74E-02	1,21E-02	1,03E-03	5,46E-04	3,16E-05
<b>COVNM g</b>	3,96E-02	3,08E-02	6,38E-03	1,67E-03	7,73E-04	1,10E-05

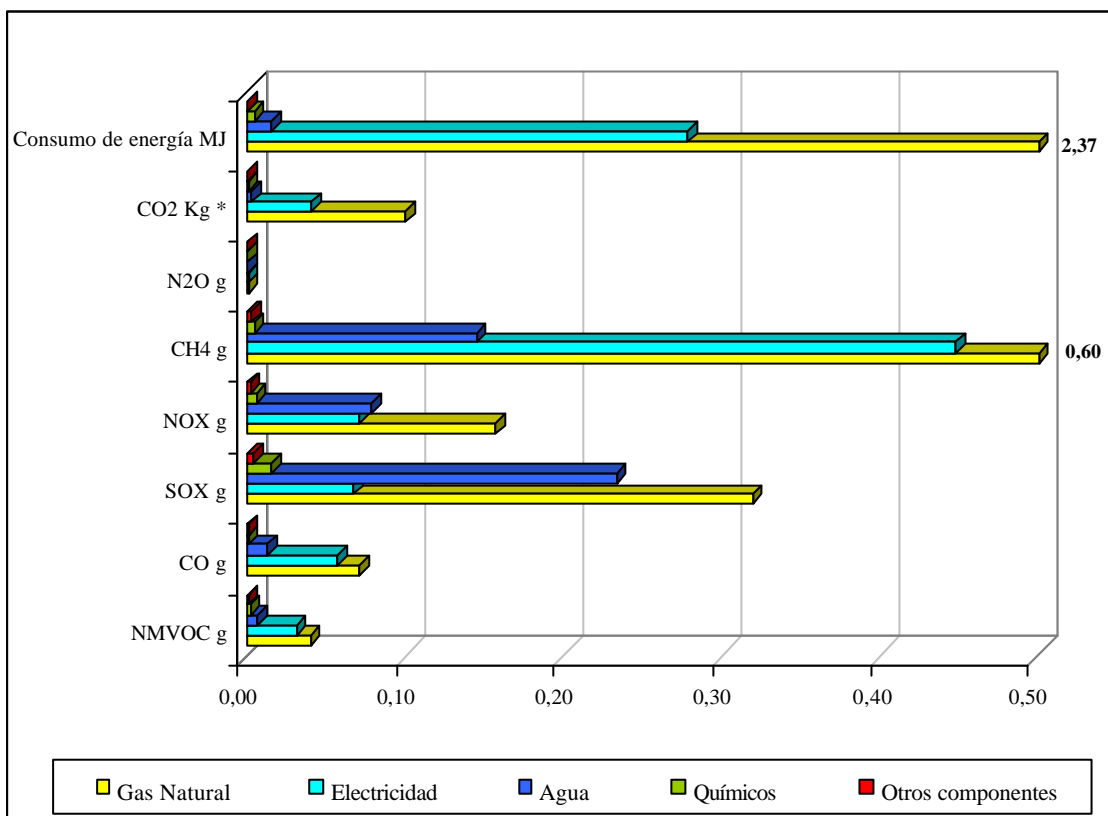
Durante esta etapa se requiere 2,67 MJ por kWh de electricidad. La producción, distribución y quema del gas natural en esta etapa requiere 2,37 MJ por kWh de electricidad, alrededor del 90% de la energía consumida en la etapa. La producción y distribución de electricidad consume 0,28 MJ por kWh de electricidad generada.

A lo largo de la etapa se emiten 143,7 g de CO<sub>2</sub>, de los cuales 99,9 g se deben al gas natural que se utiliza en la planta, y 40,6 g a la producción y distribución de electricidad.

Las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a la operación y mantenimiento de la planta se han estimado en 1,63E-3 g. Aproximadamente el 70% de estas emisiones son consecuencia del gas natural consumido. La electricidad contribuye en un 20% a las emisiones totales de N<sub>2</sub>O.



En cuanto a las emisiones de CH<sub>4</sub>, la etapa de operación y mantenimiento genera 0,6 g, de los cuales aproximadamente el 50% se deben al gas natural, el 35% a la electricidad y el 10% al agua. Estas últimas se estimaron en 4,57E-3 g de las que el 88% se deben a la electricidad consumida en la desionización del agua. Estos resultados junto con el resto de emisiones se muestran también en la Figura 40.



\* Téngase en consideración que las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestran en Kg de modo que puedan ser representadas junto con el resto de impactos analizados

**Figura 40: Consumo de energía y emisiones por componentes de la etapa de operación y mantenimiento**

En cuanto al resto de emisiones, el gas natural emite el 50% de las emisiones totales de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM de la etapa.

El agua necesaria en esta etapa genera 5,12E-3 g de NO<sub>x</sub> y 1,49E-2 g de SO<sub>x</sub>, lo que representa aproximadamente el 25% de las emisiones de NO<sub>x</sub> y el 35% de las emisiones de SO<sub>x</sub>.

La electricidad necesaria para la operación de la planta contribuye aproximadamente al 40% de las emisiones de CO y COVNM.

A través del ACV se pueden identificar áreas de mejora para la producción de electricidad en la planta analizada. Así, se propone como principal mejora minimizar el consumo de gas natural y electricidad durante la operación y mantenimiento de la planta, pues generan una importante cantidad de impactos. Para corroborar esta posible área de mejorar, sería interesante realizar varios análisis de sensibilidad en los que se consideren distintas fuentes de energía para esta etapa así como el autoconsumo energético por la planta.

En cuanto al campo solar, la mayor contribución a los impactos se debía al contenido del acero en la estructura metálica y en los cimientos, de modo que se propone mejorar el proceso de fabricación del acero, minimizando el consumo de combustibles fósiles. Asimismo, sería interesante utilizar otro material distinto al acero para la estructura del captador y los cimientos, si es posible, y realizar un análisis de sensibilidad, de modo que se puedan identificar las posibles mejoras.

Los impactos del sistema de almacenamiento se deben, como se ha visto, a las sales fundidas. En este sentido, se propone como mejora la optimización del uso de las sales, de modo que se utilice la mínima cantidad necesaria de ellas en el sistema. Los procesos de producción de las mismas deberían ser analizados con detalle para identificar las oportunidades de mejora.

### 6.3.2 ACV –IO

Los resultados obtenidos con la metodología ACV –IO describen los siguientes impactos:

- Consumo de energía
- Emisiones de gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>.
- Otras emisiones atmosféricas: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, Y NMCOV
- Impactos sociales: actividad económica y empleo generado.

Los resultados referidos a la producción de electricidad en una planta termosolar de receptores cilindro-parabólicos se muestran para las siguientes etapas: (i) planta solar, (ii) construcción y (iii) operación y mantenimiento.

En la Tabla 47 se muestran los resultados de los impactos estimados a partir del ACV – IO para la producción de 1 kWh de electricidad en la planta analizada.

**Tabla 47: Resultados ACV–IO por kWh de electricidad**

Por kWh	Total	Planta Solar	Construcción	O & M
<b>Consumo de energía MJ</b>	3,42	3,55E-01	9,91E-03	3,05
<b>CO<sub>2</sub> g</b>	177,52	21,09	6,88E-01	155,73
<b>N<sub>2</sub>O g</b>	1,22E-02	1,91E-03	5,45E-05	1,03E-02
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	0,28	2,36E-02	3,77E-04	2,59E-01
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	0,39	7,58E-02	4,48E-03	3,11E-01
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	0,70	1,27E-01	1,28E-03	5,68E-01
<b>CO g</b>	0,59	1,87E-01	1,06E-02	3,95E-01
<b>COVNM g</b>	0,13	3,06E-02	4,42E-03	9,23E-02
<b>Actividad económica €</b>	1,45E-01	4,97E-02	1,09E-03	9,42E-02
<b>Actividad directa económica €</b>	8,87E-02	3,03E-02	7,12E-04	5,77E-02
<b>Empleo en la vida útil</b>	3485	1379	56	2050

La producción de 1 kWh de electricidad en la planta termosolar requiere 3,42 MJ, de los cuales 3,05 MJ se consumen en la etapa de operación y mantenimiento y 0,355 MJ se deben a la adquisición y fabricación de los componentes de la planta solar.

A lo largo del ciclo de vida se emiten 177,01 g de CO<sub>2</sub>. La etapa de operación y mantenimiento emite aproximadamente el 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo de vida, mientras que los componentes de la planta solar emiten 21,1 g.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, a lo largo del ciclo de vida analizado se producen 1,22E-2 g de N<sub>2</sub>O, de los que más del 80% se deben a la etapa de operación y mantenimiento de la planta.

En referencia a otros gases de efecto invernadero, la producción de 1 kWh de electricidad a lo largo del ciclo de vida analizado emite 0,28 g de CH<sub>4</sub>. El 90% de estas emisiones se deben a la etapa de operación y mantenimiento.

Asimismo, se han estimado las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> a lo largo del ciclo de vida, 0,39 g y 0,7 g respectivamente. En ambos casos, los componentes de la planta solar representan el 20% de las emisiones totales, mientras que la etapa de operación y mantenimiento contribuye en casi el 80% al total emitido.

En cuanto a las emisiones de CO, se estima la emisión de 0,58 g a lo largo del ciclo de vida. Más del 30% de estas emisiones se deben a los componentes de la planta solar, mientras que la etapa de operación y mantenimiento produce el 67% de las emisiones totales de CO.

A lo largo de las distintas etapas se emiten 0,125 g de COVNM. Más del 70% de estas emisiones se deben a la etapa de operación y mantenimiento de la planta. La construcción de la infraestructura representa el 2% del total de emisiones de COVNM.

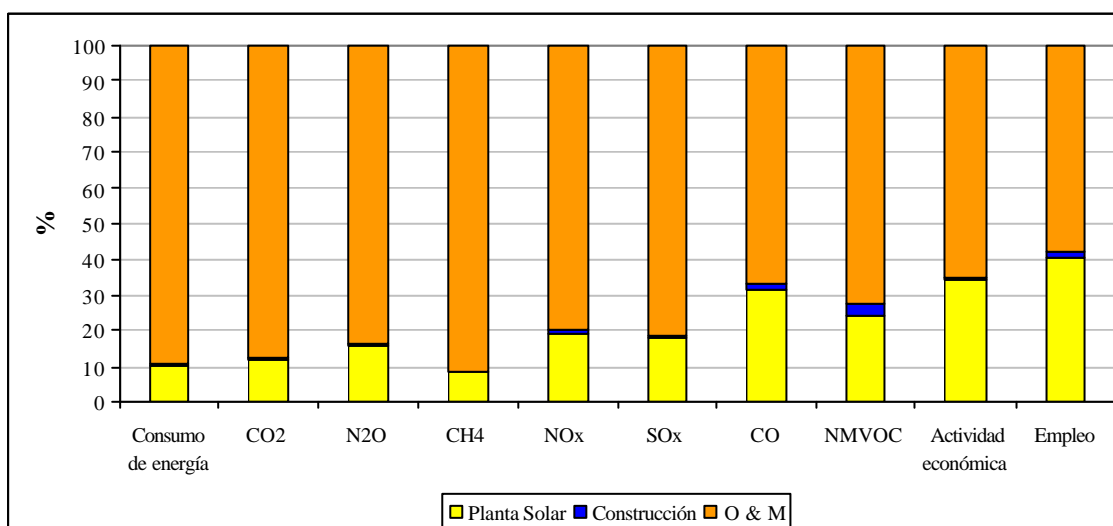
En cuanto a los aspectos sociales, se ha estimado la actividad económica total y directa así como el empleo generado por la producción de electricidad en la planta termosolar. La actividad económica generada por la producción de 1 kWh de electricidad en la planta a lo largo de la vida útil se ha estimado en 0,145 €<sub>2000</sub>.

La producción de 1 kWh de electricidad en la planta supone un coste total de 0,053 €<sub>2000</sub>, generando una actividad económica total dentro de la contabilidad nacional de 0,145 €<sub>2000</sub>. De ellos, 0,094 €<sub>2000</sub> se generan en la etapa de operación y mantenimiento. La actividad económica directa se ha estimado en 0,089 €<sub>2000</sub>.

El efecto multiplicado se ha calculado para la producción de electricidad en la planta termosolar cilindro-parabólica y alcanza el valor de 2,75. Esto supone que cuando se incrementa en 1€ la demanda de electricidad de origen termosolar, se está generando un incremento de 2,76 € en la demanda total de bienes y servicios de la economía.

En cuanto al empleo generado, los datos mostrados se refieren al empleo generado en la vida útil, estimado en 3485 empleos, de los que 2050 se deben a la etapa de operación y mantenimiento, 1379 a los componentes de la planta solar y 56 a la etapa de construcción de la infraestructura.

Los resultados también se muestran en la Figura 41 en función de la contribución de cada etapa a cada impacto analizado.



**Figura 41: Porcentaje de contribución por etapas a los impactos**

En la Tabla 48 se muestran las ramas de actividad, identificadas con la herramienta ACV –IO, que más contribuyen a la actividad económica, el consumo de energía y la generación de empleo para la producción de 1 kWh de electricidad en la planta analizada.

**Tabla 48: Ramas de actividad con mayor contribución a los impactos socioeconómicos y el consumo de energía por kWh de electricidad en el ciclo de vida**

Por kWh de electricidad	Act. Econom. €	Consumo energía MJ	Empleo
Industria química	3,21E-02	8,39E-02	9,30E-08
Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio	1,21E-02	1,90E-03	3,08E-10
Producción y distribución de gas	1,19E-02	7,95E-02	1,60E-08
Metalurgia	1,13E-02	8,79E-02	2,83E-08
Otras actividades empresariales	7,82E-03	1,73E-03	9,10E-08
Producción y distribución de energía eléctrica	7,56E-03	6,90E-01	1,52E-08
Transporte terrestre y transporte por tubería	3,58E-03	1,29E-01	5,65E-08
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	6,26E-03	5,30E-02	4,17E-08
Coquerías, refino y combustibles nucleares	5,82E-03	5,29E-02	2,01E-09
Captación, depuración y distribución de agua	4,08E-03	1,57E-02	3,63E-08
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	8,05E-04	2,84E-03	6,88E-09
Saneamiento público de mercado	1,84E-04	4,06E-05	1,61E-09
Fabricación de productos metálicos	4,47E-03	4,95E-03	4,60E-08
Resto de ramas	3,71E-02	5,84E-02	2,91E-07
<b>Total</b>	<b>1,45E-01</b>	<b>1,26E+00</b>	<b>7,26E-07</b>

\* No se ha incluido en la tabla el consumo directo de gas natural

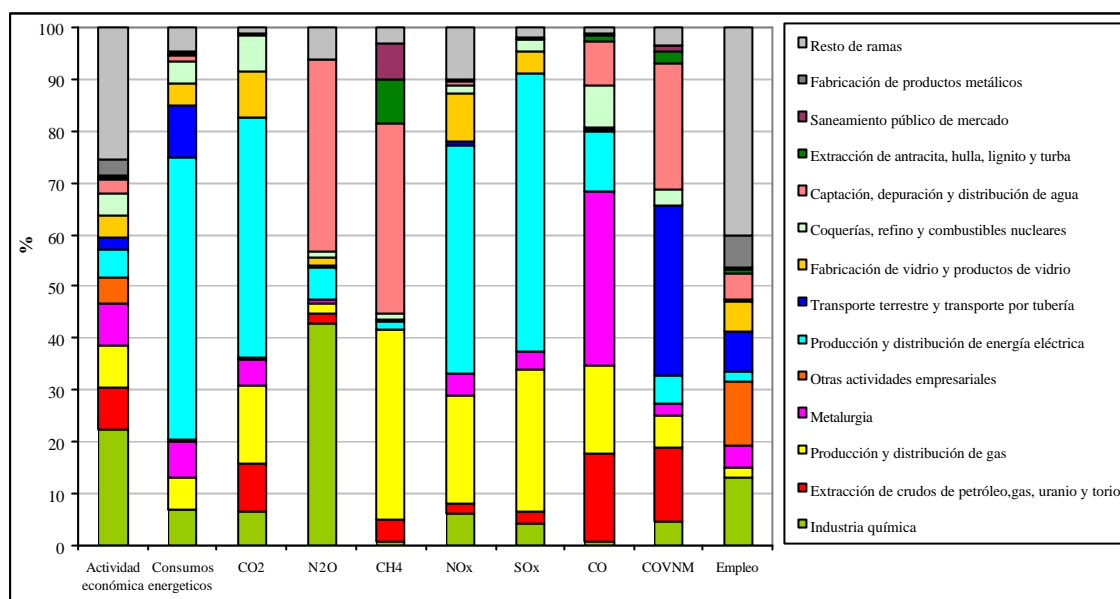
La rama *Industria química* representa más del 20% de la actividad económica generada.

Otras ramas de actividad con importantes contribuciones a la actividad económica son la *Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio* y la *Producción y distribución de gas*, que representan cada una más del 8% del total.

En cuanto al consumo de energía, la *Producción y distribución de energía eléctrica* representa aproximadamente el 55% del total para el ciclo de vida analizado. El *Transporte terrestre y por tubería* supone el 10% del consumo de energía total.

Respecto a la generación de empleo, la *Industria química* y la rama *Otras actividades empresariales* representan cada una más del 12% del empleo total generado en el ciclo de vida analizado. El *Transporte terrestre y por tubería* y la *Fabricación de productos metálicos* representan aproximadamente el 8% y el 6,5% respectivamente.

En la Figura 42 se muestran las ramas con mayor contribución a cada impacto analizado respecto al total.



**Figura 42: Ramas de actividad con mayor contribución a los impactos de la producción de electricidad en la planta termosolar**

En la Tabla 49 se muestran las ramas que más contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

**Tabla 49: Ramas de actividad con mayor contribución a los gases de efecto invernadero por kWh de electricidad en el ciclo de vida**

Por kWh de electricidad	CO2 g	N2O g	CH4 g
Industria química	5,18E+00	5,03E-03	2,17E-03
Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio	7,60E+00	1,91E-04	1,15E-02
Producción y distribución de gas	1,23E+01	2,47E-04	1,03E-01
Metalurgia	4,20E+00	6,97E-05	5,34E-04
Otras actividades empresariales	9,24E-02	1,49E-06	1,82E-05
Producción y distribución de energía eléctrica	3,81E+01	7,48E-04	3,89E-03
Transporte terrestre y transporte por tubería	1,11E-01	2,39E-05	1,20E-03
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	7,06E+00	1,71E-04	1,86E-04
Coquerías, refino y combustibles nucleares	5,67E+00	1,62E-04	2,68E-03
Captación, depuración y distribución de agua	0,00E+00	4,35E-03	1,03E-01
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	4,12E-01	1,66E-05	2,45E-02
Saneamiento público de mercado	4,11E-03	1,61E-06	1,98E-02
Fabricación de productos metálicos	6,94E-02	2,40E-06	1,70E-06
Resto de ramas	7,70E-01	6,94E-04	8,39E-03
<b>Total</b>	<b>8,21E+01</b>	<b>1,17E-02</b>	<b>2,81E-01</b>

\* Las emisiones debidas a la quemada directa del gas natural no se han incluido en esta tabla.

La fuente principal de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el caso de análisis es la rama *Producción y distribución de energía eléctrica*, que genera aproximadamente el 46% de las emisiones totales. Destacan otras ramas como la *Producción y distribución de gas* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio*, que representan el 15% y el 9% respectivamente.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, la *Industria química* representa el 43% del total emitido, mientras que la rama *Captación, depuración y distribución de agua* es responsable del 37% de las emisiones.

Por último, destacan dos ramas de actividad como principal fuente de emisiones de CH<sub>4</sub>, la *Producción y distribución de gas*, que representa el 37% y la *Captación, depuración y distribución de agua*, que supone el 36% de las emisiones totales.

Asimismo, se han identificado las ramas de actividad con mayor importancia respecto a otras emisiones y se muestran en la Tabla 50.

**Tabla 50: Ramas de actividad con mayor contribución a otras emisiones por kWh de electricidad en el ciclo de vida**

Por kWh de electricidad	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	COVNM
Industria química	1,60E-02	2,85E-02	3,64E-03	5,33E-03
Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio	5,76E-03	1,62E-02	8,73E-02	1,84E-02
Producción y distribución de gas	5,78E-02	1,92E-01	8,85E-02	7,77E-03
Metalurgia	1,22E-02	2,23E-02	1,73E-01	2,63E-03
Producción y distribución de energía eléctrica	1,22E-01	3,75E-01	5,97E-02	6,84E-03
Transporte terrestre y transporte por tubería	5,44E-03	1,30E-04	1,13E-02	4,32E-02
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	2,55E-02	2,84E-02	2,22E-03	8,36E-05
Coquerías, refino y combustibles nucleares	4,65E-03	1,77E-02	4,23E-02	3,86E-03
Captación, depuración y distribución de agua	1,73E-03	5,16E-04	4,44E-02	3,06E-02
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	8,14E-04	2,51E-03	5,94E-03	2,93E-03
Saneamiento público de mercado	7,79E-05	2,33E-05	2,00E-03	1,38E-03
Fabricación de productos metálicos	7,50E-04	1,72E-05	2,44E-04	1,04E-04
Resto de ramas	2,73E-02	1,24E-02	5,42E-03	4,30E-03
<b>Total</b>	<b>2,80E-01</b>	<b>6,96E-01</b>	<b>5,26E-01</b>	<b>1,27E-01</b>

\* Las emisiones debidas a la quema directa del gas natural no se han incluido en esta tabla.



Las ramas con mayor contribución a las emisiones de NOx son también las que mayores emisiones de SOx generan. Así pues, la *Producción y distribución de gas* representa el 20% de las emisiones de NOx y aproximadamente el 27% de las emisiones de SOx, mientras que la *Producción y distribución de energía eléctrica* origina el 44% de las emisiones de NOx y el 54% de las emisiones de SOx.

En cuanto a las emisiones de CO, la rama *Metalurgia* representa el 33,5% del total emitido. Además, la *Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio* y la *Producción y distribución de gas* suponen cada una el 17% de estas emisiones.

Las mayores emisiones de COVNM están asociadas a la rama *Transporte terrestre y por tubería* que representa el 33% del total del ciclo de vida analizado. Destacan otras ramas como la *Captación, distribución y depuración de agua*, que origina el 24,4% de las emisiones y la *Extracción de crudos de petróleo, gas, uranio y torio*, que supone menos del 15% del total.

En la Tabla 67 del Anexo se muestran todos los impactos estimados por la herramienta ACV –IO para la producción de electricidad en la planta termosolar durante la vida útil y a lo largo del ciclo de vida considerado.

- **Planta Solar**

De igual modo que en el ACV, se incluyen dentro de esta etapa el campo solar, el bloque de potencia, el sistema de almacenamiento y los edificios.

Los resultados de los impactos ambientales y socioeconómicos estimados con el ACV – IO se muestran en la Tabla 51 y en la Figura 43 y Figura 44.

**Tabla 51: Resultados ACV –IO de los impactos por componentes del campo solar**

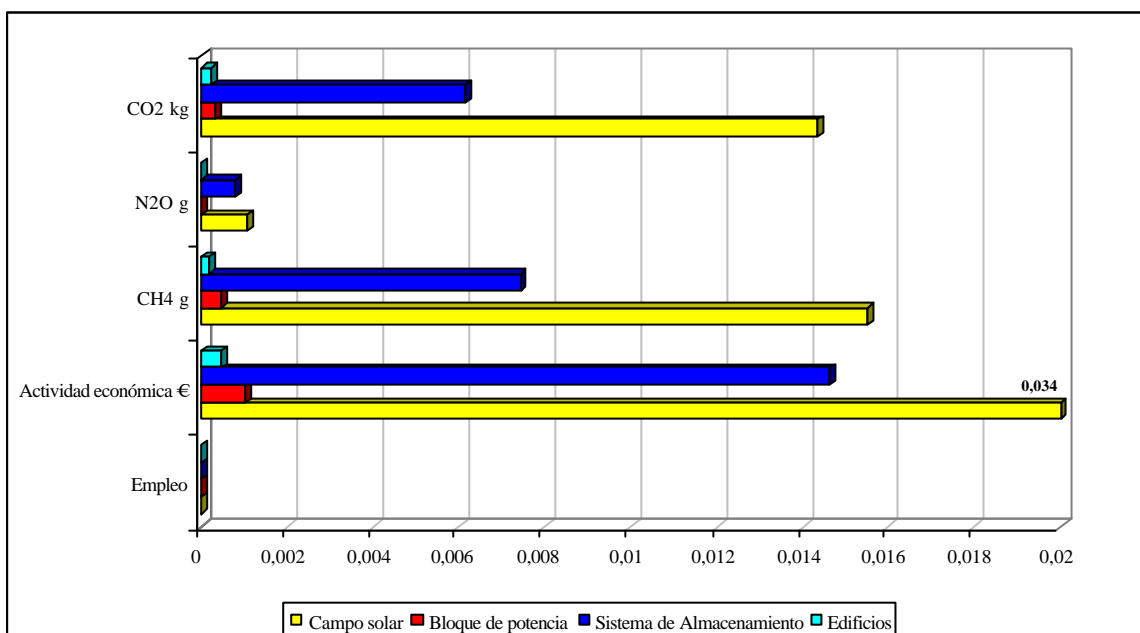
Por kWh	Campo solar	Bloque de potencia	Sistema de Almacenamiento	Edificios
<b>Consumo de energía MJ</b>	2,46E-01	7,26E-03	9,83E-02	3,98E-03
<b>CO<sub>2</sub> g</b>	14,37	3,27E-01	6,17	2,34E-01
<b>N<sub>2</sub>O g</b>	1,08E-03	2,04E-05	8,00E-04	1,10E-05
<b>CH<sub>4</sub> g</b>	1,55E-02	4,58E-04	7,43E-03	2,15E-04
<b>NO<sub>x</sub> g</b>	5,20E-02	1,21E-03	2,17E-02	8,78E-04
<b>SO<sub>x</sub> g</b>	8,71E-02	2,26E-03	3,66E-02	1,40E-03
<b>CO g</b>	1,42E-01	6,50E-03	3,63E-02	2,14E-03
<b>COVNM g</b>	2,07E-02	5,80E-04	8,96E-03	3,48E-04
<b>Actividad económica €</b>	3,36E-02	1,04E-03	1,46E-02	5,04E-04
<b>Actividad directa económica €</b>	2,04E-02	6,10E-04	8,95E-03	3,10E-04
<b>Empleo en la vida útil</b>	937	27	399	16

El campo solar es el componente de la planta que requiere mayor consumo, 0,25 MJ, seguido del sistema de almacenamiento, 0,098 MJ por kWh de electricidad.

En el caso del CO<sub>2</sub>, el campo solar y el sistema de almacenamiento son los componentes que más contribuyen a este impacto, emitiendo 14,37 g, que supone el 68% de las emisiones totales y 6,17 g el 29% del total, respectivamente. El bloque de potencia y los edificios generan 0,3 g y 0,2 g de CO<sub>2</sub> respectivamente.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, el campo solar representa el 56% del total emitido, generando 1,08E-3 g por kWh. Las emisiones de N<sub>2</sub>O para el sistema de almacenamiento se han estimado en 8E-4 g, el 42% de las emisiones totales. La fabricación y adquisición de los elementos del bloque de potencia y de los edificios producen la emisión de 2,04E-5 g y 1,1E-5 g respectivamente.

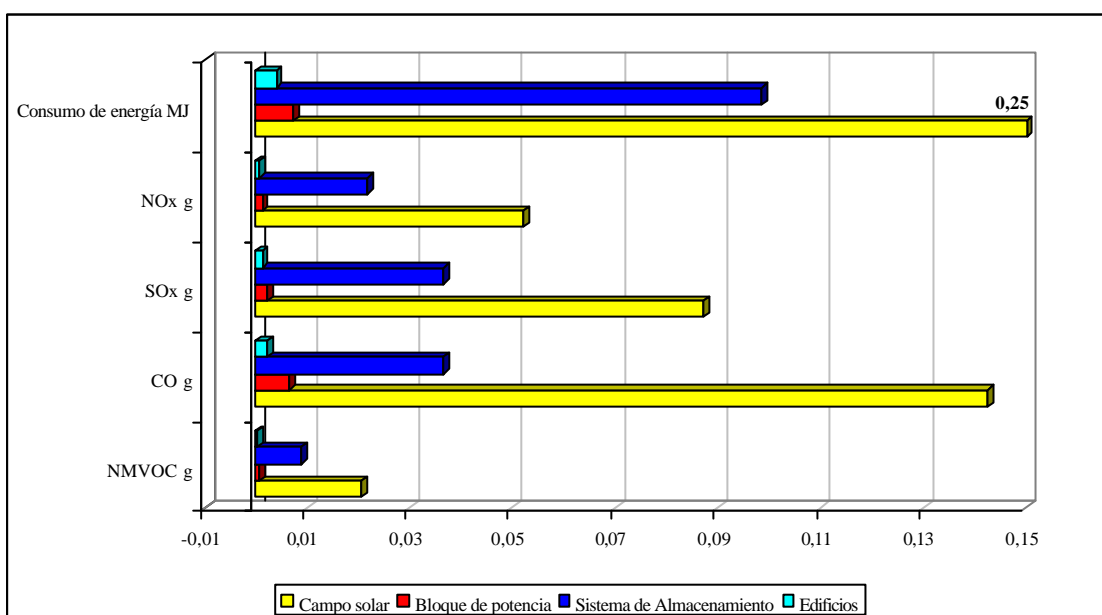
La fabricación y adquisición de los elementos del campo solar emite 0,015 g de CH<sub>4</sub> por kWh de electricidad, que representa aproximadamente el 65% de las emisiones de todos los componentes de la planta solar. Tras el campo solar, las mayores emisiones de CH<sub>4</sub> se deben al sistema de almacenamiento, 7,43E-3 g (31%) y al bloque de potencia, 4,58E-4 g. Estos resultados se muestran en la Figura 43.



**Figura 43: Emisiones de gases de efecto invernadero e impactos socioeconómicos de los componentes de la planta solar por kWh**

Con respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM, tal y como muestra la Tabla 51, el campo solar es en todos los casos el componente que más contribuye al total emitido de cada gas, entre el 68% y el 76%, seguido por el sistema de almacenamiento. La Figura 44 muestra estos resultados junto con el consumo de energía para cada componente de la planta solar.

A lo largo de la fabricación y adquisición de los distintos componentes de la planta solar se genera una actividad económica total de 0,49 €<sub>2000</sub>, de los cuales 0,034 €<sub>2000</sub> se deben al campo solar y 0,015 €<sub>2000</sub> al sistema de almacenamiento. Asimismo, los componentes de la planta solar generan 1379 empleos. De ellos, 937 se deben al campo solar y 399 al sistema de almacenamiento. El bloque de potencia genera 27 nuevos empleos y los edificios 16.



**Figura 44: Consumo de energía y emisiones de los componentes de la planta solar por kWh**

Una vez conocidos los impactos de la planta solar y la contribución de cada componente de la planta a cada impacto, el ACV –IO permite identificar las ramas de actividad con mayor relevancia para cada impacto y componente.

- **Campo Solar**

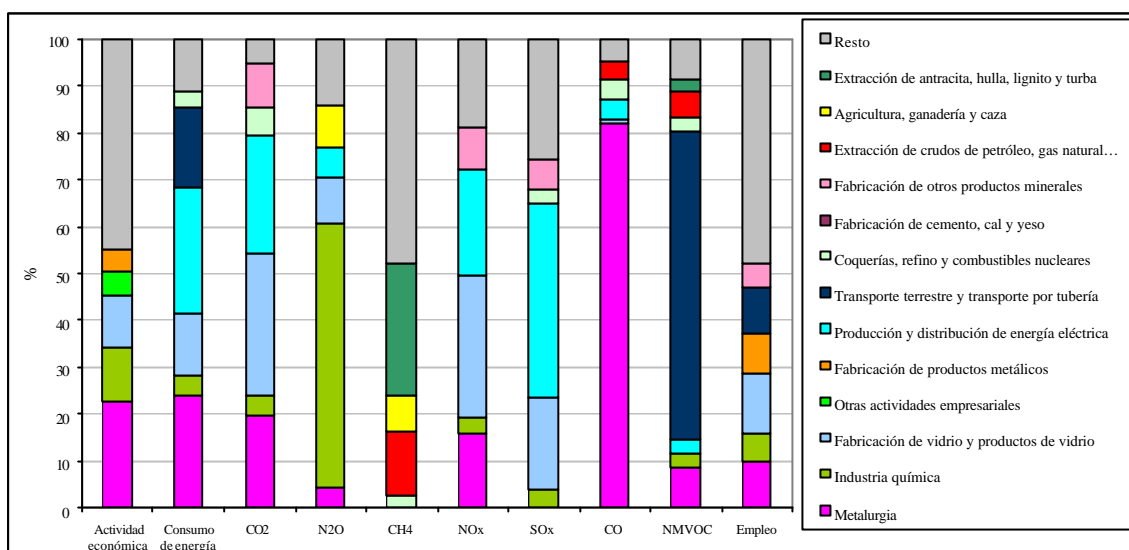
En la Tabla 52 se muestran las ramas de actividad que más contribuyen a cada impacto analizado asociadas a los elementos que componen el campo solar.

**Tabla 52: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para el campo solar**

Por kWh de electricidad	Act. Econom. €	Consumo energía MJ	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Metalurgia	7,59E-03	5,92E-02	2,83E+00	4,69E-05	
Industria química	3,87E-03	1,01E-02	6,26E-01	6,07E-04	
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	3,83E-03	3,24E-02	4,31E+00	1,04E-04	
Otras actividades empresariales	1,69E-03				
Fabricación de productos metálicos	1,62E-03				
Producción y distribución de energía eléctrica		6,61E-02	3,65E+00	7,15E-05	
Transporte terrestre y transporte por tubería		4,24E-02			
Coquerías, refino y combustibles nucleares		8,19E-03	8,77E-01		4,14E-04
Fabricación de otros productos minerales			1,31E+00		
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio					2,11E-03
Agricultura, ganadería y caza				9,42E-05	1,21E-03
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba					4,33E-03
Resto de ramas	1,50E-02	2,72E-02	7,63E-01	1,53E-04	7,45E-03
<b>TOTAL</b>	<b>3,36E-02</b>	<b>2,46E-01</b>	<b>1,44E+01</b>	<b>1,08E-03</b>	<b>1,55E-02</b>

Por kWh electricidad	NO <sub>x</sub> g	SO <sub>x</sub> g	CO g	COVNM g	Empleo
Metalurgia	8,20E-03		1,17E-01	1,77E-03	93,9
Industria química	1,93E-03	3,45E-03		6,43E-04	53,6
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	1,56E-02	1,73E-02	1,36E-03		122
Fabricación de productos metálicos					80,6
Producción y distribución de energía eléctrica	1,17E-02	3,59E-02	5,71E-03	6,54E-04	
Transporte terrestre y transporte por tubería				1,36E-02	89,3
Coquerías, refino y combustibles nucleares		2,74E-03	6,54E-03	5,97E-04	
Fabricación de otros productos minerales	4,74E-03	5,26E-03			49,3
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio			5,38E-03	1,14E-03	
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba				5,18E-04	
Resto de ramas	9,86E-03	2,25E-02	6,80E-03	1,79E-03	449
<b>TOTAL</b>	<b>5,20E-02</b>	<b>8,71E-02</b>	<b>1,42E-01</b>	<b>2,07E-02</b>	<b>937</b>

La Figura 45 muestra las ramas más relevantes para cada impacto en porcentaje.



**Figura 45: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos del campo solar**

En lo referente a la actividad económica, la *Metalurgia* genera más del 20% de la actividad económica asociada al campo solar, seguida de la *Industria química* y de la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*. Estos sectores responden a los componentes principales del captador: la estructura metálica, los espejos y el aceite térmico.

La rama que más energía requiere asociada al campo solar es la *Producción y distribución de energía eléctrica*, con más del 25% del consumo de energía del campo solar, seguida de la *Metalurgia* que consume el 24% de la energía total y el *Transporte terrestre y por tubería*, que representa el 17% de los consumos energéticos.

La rama de actividad *Fabricación de vidrio y productos de vidrio* emite el 30% del CO<sub>2</sub>. El 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del campo solar se deben a la *Producción y distribución de energía eléctrica*, mientras que la *Metalurgia* contribuye en un 20%.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, la rama de actividad *Industria química* es responsable del 56%. Otras ramas como la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*

y la *Agricultura, ganadería y caza* contribuyen en menos del 10% a las emisiones totales de N<sub>2</sub>O para el campo solar.

En el caso del CH<sub>4</sub>, la rama de actividad *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba* es responsable de aproximadamente el 27% de las emisiones, seguido de la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*, que contribuye al total emitido con un 14%.

Las ramas de actividad *Fabricación de vidrio y productos de vidrio* y *Producción y distribución de energía eléctrica* son las ramas con mayor contribución a las emisiones de NO<sub>x</sub>, 30% y 22, 5%. La *Metalurgia* emite el 15% de las emisiones totales de NO<sub>x</sub> para el campo solar.

La principal rama de actividad en la emisión de SO<sub>x</sub> es la *Producción y distribución de energía eléctrica*, que supone más del 40% de las emisiones totales, junto con la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*, que emite aproximadamente el 20% del total.

La *Metalurgia* es responsable de más del 80% de las emisiones de CO, siendo la contribución de otras ramas relevantes menores del 5%, como el caso de la *Producción y distribución de energía eléctrica*.

En referencia a las emisiones de COVNM, la rama de actividad *Transporte terrestre y transporte por tubería* es responsable del 65% de estas emisiones asociadas al campo solar. La *Metalurgia* contribuye en un 8,5% de las emisiones de COVNM, seguida por la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*, que representa el 5,5% de las emisiones totales de COVNM.

En cuanto a los nuevos empleos generados asociados al campo solar, se estimaron en 937 de los que el 13% se crean en la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*, el 10% en la rama de *Metalurgia*, el 9,5% en la rama de *Transporte terrestre y transporte por tubería* y el 8% en la *Fabricación de productos metálicos*.

- **Bloque de Potencia**

En la Tabla 53 se muestran las ramas de actividad que más contribuyen a cada impacto analizado asociadas a los elementos que componen el bloque de potencia.

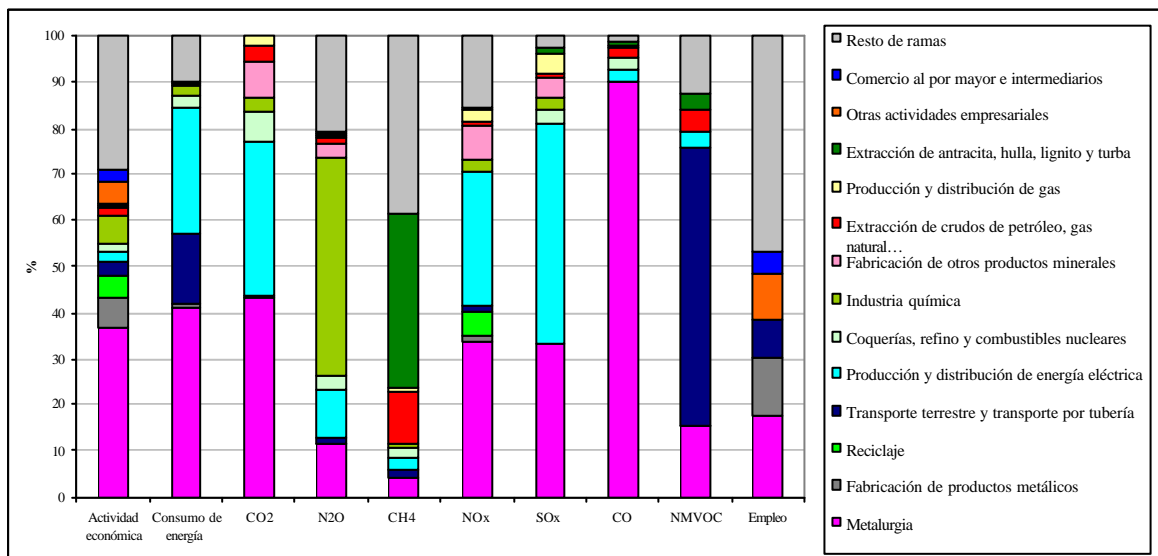
**Tabla 53: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para el bloque de potencia**

Por kWh de electricidad	Act. Económ. €	Consumo de energía MJ	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Metalurgia	3,81E-04	2,97E-03	1,42E-01	2,35E-06	1,80E-05
Fabricación de productos metálicos	6,78E-05	7,52E-05		3,64E-08	2,58E-08
Reciclaje	4,84E-05				
Transporte terrestre y transporte por tubería	3,04E-05	1,09E-03	9,42E-04	2,02E-07	1,01E-05
Producción y distribución de energía eléctrica	2,17E-05	1,99E-03	1,10E-01	2,15E-06	1,12E-05
Coquerías, refino y combustibles nucleares	2,18E-05	1,98E-04	2,12E-02	6,04E-07	1,00E-05
Industria química	6,16E-05	1,61E-04	9,95E-03	9,64E-06	4,15E-06
Fabricación de otros productos minerales			2,55E-02	6,17E-07	
Extracción de crudos de petróleo y gas natural, uranio y torio	1,80E-05	2,83E-06	1,13E-02	2,84E-07	5,09E-05
Producción y distribución de gas	6,10E-06	4,08E-05	6,31E-03	1,27E-07	2,89E-06
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	5,71E-06	2,01E-05	2,92E-03	1,18E-07	1,74E-04
Otras actividades empresariales	4,60E-05	1,02E-05		8,79E-09	1,07E-07
Comercio al por mayor e intermediarios	2,61E-05	6,14E-06		4,99E-09	6,07E-08
Resto de ramas	3,02E-04	7,01E-04	-2,96E-03	4,26E-06	1,77E-04
<b>TOTAL</b>	1,04E-03	7,26E-03	3,27E-01	2,04E-05	4,58E-04



Por kWh electricidad	NOx g	SOx g	CO g	COVNMg	Empleo
Metalurgia	4,11E-04	7,53E-04	5,84E-03	8,88E-05	4,71
Fabricación de productos metálicos	1,14E-05	2,61E-07	3,71E-06	1,58E-06	3,38
Reciclaje	6,71E-05				
Transporte terrestre y transporte por tubería	1,51E-05	1,86E-07	1,57E-05	3,50E-04	2,30
Producción y distribución de energía eléctrica	3,52E-04	1,08E-03	1,72E-04	1,97E-05	
Coquerías, refino y combustibles nucleares		6,63E-05	1,58E-04		
Industria química	3,07E-05	5,48E-05			
Fabricación de otros productos minerales	9,22E-05	1,02E-04			
Extracción de crudos de petróleo y gas natural, uranio y torio	8,58E-06	2,42E-05	1,30E-04	2,74E-05	
Producción y distribución de gas	2,97E-05	9,87E-05	4,54E-05		
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	5,78E-06	1,78E-05	4,22E-05	2,08E-05	
Otras actividades empresariales					2,56
Comercio al por mayor e intermediarios					1,35
Resto de ramas	1,90E-04	6,20E-05	8,82E-05	7,17E-05	12,6
<b>TOTAL</b>	<b>1,21E-03</b>	<b>2,26E-03</b>	<b>6,50E-03</b>	<b>5,80E-04</b>	<b>27</b>

La Figura 46 muestra las ramas con mayor contribución a cada impacto.



**Figura 46: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos del bloque de potencia**

La mayor actividad económica se genera en la rama de actividad *Metalurgia*, que contribuye con el 37% sobre la actividad económica total, seguido de la *Fabricación de productos metálicos*, que supone el 6,5% y la *Industria química* que representa el 6%.

El 40% de la energía consumida se debe a la rama de actividad de la *Metalurgia*. Otras ramas como la *Producción y distribución de electricidad* y el *Transporte terrestre y por tubería* son responsables del 27% y 15% del consumo energético total asociado al bloque de potencia.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> del bloque de potencia se han estimado en 0,33 g, de los cuales el 43% se deben a la *Metalurgia* y el 33,5% a la rama de *Producción y distribución de electricidad*. Otras ramas contribuyen en menor medida a estas emisiones, como la rama *Coquerías, refinó y combustibles nucleares*, 6,5%, y la *Fabricación de otros productos minerales*, 8%.

La rama con mayor contribución a las emisiones de N<sub>2</sub>O, estimadas en 2,04E-05 g por kWh, es la *Industria química*, responsable del 48% de estas emisiones. La *Producción y distribución de energía eléctrica* y la *Metalurgia* generan aproximadamente el 11% de las emisiones totales cada una.

En cuanto a las emisiones de CH<sub>4</sub>, la *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba* genera el 38% del total emitido, mientras que la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* es responsable del 11% de las emisiones de CH<sub>4</sub> para el bloque de potencia.

Con respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, en ambos casos las dos ramas de actividad que más contribuyen a la generación de estas emisiones son la *Metalurgia*, 34% de las emisiones de NO<sub>x</sub> y 33 % de SO<sub>x</sub>, y la *Producción y distribución de energía eléctrica*, responsable del 29% de las emisiones de NO<sub>x</sub> y del 48% de las emisiones de SO<sub>x</sub>.

Aproximadamente el 90% de las emisiones de CO se deben a la *Metalurgia*.

Mediante el ACV –IO se han estimado las emisiones de COVNM en 5,80E-04 g por kWh, de los que el 60% se produce en la rama de actividad de *Transporte terrestre y transporte por tubería* y el 15% en la *Metalurgia*.

Por último, el bloque de potencia supone la generación de 5,64E-06 nuevos empleos por kWh. La rama *Metalurgia* representa el 17,5% de los empleos generados, seguida de la *Fabricación de productos metálicos*, 12,5% sobre el total, y de *Otras actividades empresariales*, cuya contribución al empleo total del bloque de potencia es del 10%.

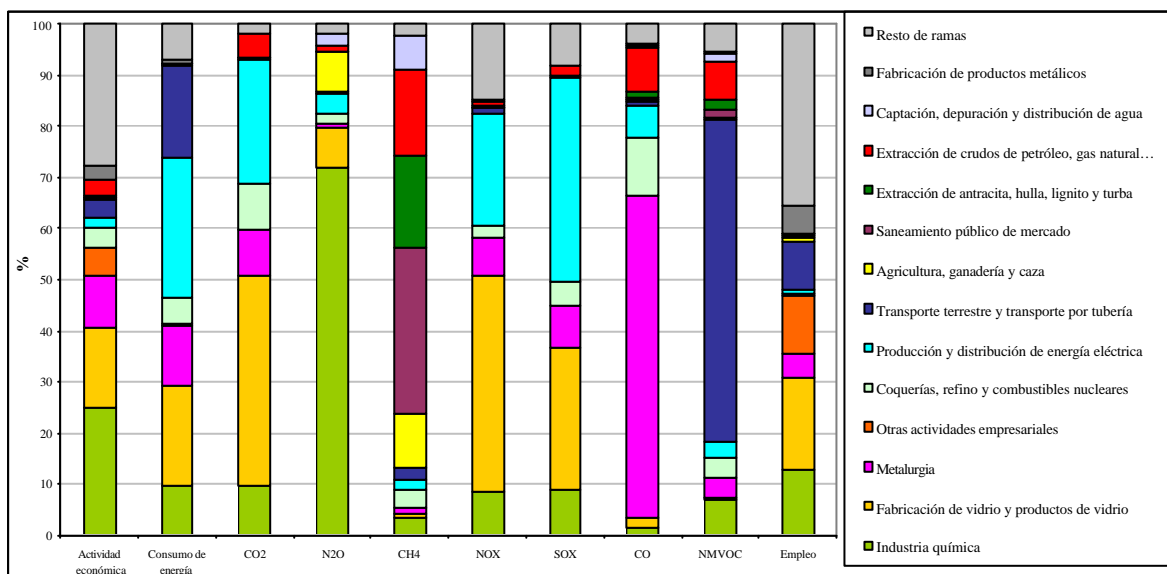
- **Sistema de Almacenamiento**

Las ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado para el sistema de almacenamiento se muestran en la Tabla 54 y en la Figura 47.

**Tabla 54: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para el sistema de almacenamiento**

Por kWh de electricidad	Act. Económ. €	Consumo energía MJ	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Industria química	3,67E-03	9,59E-03	5,93E-01	5,75E-04	2,48E-04
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	2,25E-03	1,91E-02	2,54E+00	6,14E-05	6,69E-05
Metalurgia	1,49E-03	1,16E-02	5,56E-01	9,22E-06	7,06E-05
Otras actividades empresariales	8,34E-04	1,85E-04		1,59E-07	1,94E-06
Coquerías, refino y combustibles nucleares	5,65E-04	5,14E-03	5,50E-01	1,57E-05	2,60E-04
Producción y distribución de energía eléctrica	2,97E-04	2,71E-02	1,50E+00	2,93E-05	1,53E-04
Transporte terrestre y transporte por tubería	4,92E-04	1,77E-02	1,53E-02	3,27E-06	1,64E-04
Agricultura, ganadería y caza	3,03E-05	6,94E-05		6,27E-05	8,07E-04
Saneamiento público de mercado	2,23E-05	4,92E-06		1,95E-07	2,39E-03
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	4,39E-05	1,55E-04	2,25E-02	9,07E-07	1,34E-03
Extracción de crudos de petróleo y gas natural, uranio y torio	4,43E-04	6,97E-05	2,79E-01	6,99E-06	1,26E-03
Captación, depuración y distribución de agua	1,93E-05	7,43E-05	0,00E+00	2,06E-05	4,89E-04
Fabricación de productos metálicos	4,39E-04	4,87E-04		2,36E-07	1,67E-07
Resto de ramas	4,04E-03	7,05E-03	1,16E-01	1,47E-05	1,82E-04
<b>TOTAL</b>	<b>1,46E-02</b>	<b>9,83E-02</b>	<b>6,17E+00</b>	<b>8,00E-04</b>	<b>7,43E-03</b>

Por kWh electricidad	NOx g	SOx g	CO g	COVNMg	Empleo
Industria química	1,83E-03	3,26E-03	4,17E-04	6,09E-04	50,8
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	9,19E-03	1,02E-02	8,01E-04	3,01E-05	71,6
Metalurgia	1,61E-03	2,95E-03	2,29E-02	3,48E-04	18,4
Otras actividades empresariales					46,5
Coquerías, refinó y combustibles nucleares	4,51E-04	1,72E-03	4,10E-03	3,75E-04	9,36E-01
Producción y distribución de energía eléctrica	4,80E-03	1,47E-02	2,34E-03	2,68E-04	2,86
Transporte terrestre y transporte por tubería	2,44E-04	3,02E-06	2,55E-04	5,66E-03	37,3
Agricultura, ganadería y caza	1,69E-05	5,38E-07	5,03E-05	1,53E-05	3,24
Saneamiento público de mercado	9,44E-06	2,83E-06	2,43E-04	1,67E-04	9,33E-01
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	4,44E-05	1,37E-04	3,24E-04	1,60E-04	1,80
Extracción de crudos de petróleo y gas natural, uranio y torio	2,12E-04	5,96E-04	3,20E-03	6,76E-04	5,40E-02
Captación, depuración y distribución de agua	8,17E-06	2,45E-06	2,10E-04	1,45E-04	8,19E-01
Fabricación de productos metálicos	7,37E-05	1,69E-06	2,40E-05	1,03E-05	21,9
Resto de ramas	3,20E-03	3,04E-03	1,45E-03	4,97E-04	142
<b>TOTAL</b>	<b>2,17E-02</b>	<b>3,66E-02</b>	<b>3,63E-02</b>	<b>8,96E-03</b>	<b>399</b>



**Figura 47: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos del sistema de almacenamiento**

La *Industria química* es la rama con mayor generación de actividad económica, el 25% del total asociado al sistema de almacenamiento. Otras ramas de actividad como la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio* y la *Metalurgia* contribuyen en un 15,4% y en un 10% respectivamente a la actividad económica total.

El sistema de almacenamiento requiere  $9,83E-02$  MJ por kWh, según los resultados obtenidos en el ACV –IO. Más del 27% de este consumo se origina en la rama de actividad de *Producción y distribución de energía eléctrica*. La *Fabricación de vidrio y productos de vidrio* y el *Transporte terrestre y por tubería* son responsables del 20% y el 18% del consumo de energía. Otras ramas de actividad relevantes en el consumo energético son la *Metalurgia* y la *Industria química*, cuya contribución al consumo energético del sistema de almacenamiento es del 11,8% y del 9,7% respectivamente.

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, el 41% de éstas se generan en la rama de actividad *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*. La *Producción y distribución de energía eléctrica* es responsable del 24% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las ramas *Industria química*, *Metalurgia* y *Coquerías, refino y combustibles nucleares* generan cada una aproximadamente el 9% de las emisiones totales.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, cerca del 72% del total emitido debido al sistema de almacenamiento tiene como origen la *Industria química*. La *Agricultura, ganadería y caza* y la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio* contribuyen cada una en un 8% a las emisiones totales de N<sub>2</sub>O.

Con referencia a las emisiones de CH<sub>4</sub>, el 32% de éstas se deben a la rama *Saneamiento público de mercado*. La *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* son responsables del 18% y 17% de las emisiones totales de CH<sub>4</sub> para el sistema de almacenamiento.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> se han estimado en  $2,17E-02$  g por kWh de electricidad generada. El 42% de estas emisiones proceden de la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*, el 22% en la rama de *Producción y distribución de energía eléctrica* y el 8,5% en la *Industria química*.

En el caso de las emisiones de SO<sub>x</sub>, la *Producción y distribución de energía eléctrica* es responsable del 40% de éstas en el sistema de almacenamiento. El 28% de las emisiones de SO<sub>x</sub> estimadas por el ACV –IO se originan en la rama de *Fabricación y de vidrio y productos de vidrio*. La *Industria química* contribuye con el 9% al total emitido.

Con referencia a las emisiones de CO, el 63% se producen en la rama de *Metalurgia*. Otras ramas como *Coquerías, refino y combustibles nucleares* y *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* son responsables del 11% y el 9% de las emisiones totales de CO en el sistema de almacenamiento.

En cuanto a las emisiones de COVNM, el 63% se debe al *Transporte terrestre y transporte por tubería*. Las emisiones de los sectores *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* y la *Industria química* contribuyen en el 7,5% y 6,8% al total emitido.

En cuanto al empleo generado, las ramas de actividad que mayor contribución tienen a este impacto social son la *Fabricación de vidrio y productos de vidrio*, responsable del 18% del empleo generado, junto con la *Industria química*, que genera el 13% del empleo debido al sistema de almacenamiento y *Otras actividades empresariales*, donde se originan el 11% del empleo.

- **Edificios**

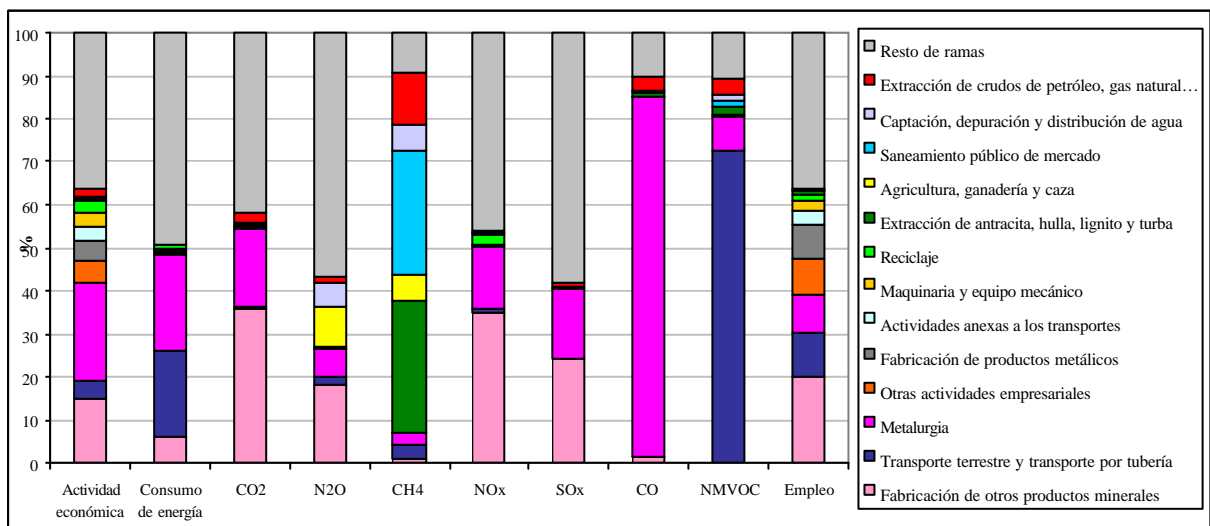
Los resultados de las principales ramas de actividad, obtenidos en el ACV –IO, para los edificios de la planta termosolar se muestran en la Tabla 55.

**Tabla 55: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para los edificios**

Por kWh de electricidad	Act. Económica €	Consumo de energía MJ	CO2 g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Fabricación de otros productos minerales	7,47E-05	2,44E-04	8,41E-02	2,04E-06	2,22E-06
Transporte terrestre y transporte por tubería	2,19E-05	7,88E-04	6,81E-04	1,46E-07	7,32E-06
Metalurgia	1,16E-04	9,03E-04	4,32E-02	7,16E-07	5,48E-06
Otras actividades empresariales	2,36E-05	5,24E-06	2,79E-04	4,52E-09	5,50E-08
Fabricación de productos metálicos	2,59E-05	2,87E-05	4,02E-04	1,39E-08	9,85E-09
Actividades anexas a los transportes	1,59E-05	4,57E-06	1,86E-04	3,03E-09	3,69E-08
Maquinaria y equipo mecánico	1,57E-05	6,14E-06	2,22E-04	1,37E-08	4,87E-09
Reciclaje	1,48E-05	3,50E-05	9,38E-04	1,54E-08	4,43E-08
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	2,18E-06	7,68E-06	1,12E-03	4,50E-08	6,64E-05
Agricultura, ganadería y caza	4,85E-07	1,11E-06	8,61E-05	1,00E-06	1,29E-05
Saneamiento público de mercado	5,71E-07	1,26E-07	1,27E-05	4,99E-09	6,12E-05
Captación, depuración y distribución de agua	5,57E-07	2,14E-06	0,00E+00	5,93E-07	1,41E-05
Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio.	9,09E-06	1,43E-06	5,72E-03	1,43E-07	2,58E-05
Resto de ramas	1,83E-04	1,96E-03	9,73E-02	6,26E-06	1,96E-05
<b>TOTAL</b>	5,04E-04	3,98E-03	2,34E-01	1,10E-05	5,04E-04

Por kWh electricidad	NOx g	SOx g	CO g	COVNMg	Empleo
Fabricación de otros productos minerales	3,05E-04	3,38E-04	2,65E-05	9,96E-07	3,17
Transporte terrestre y transporte por tubería	1,09E-05	1,35E-07	1,14E-05	2,52E-04	1,66
Metalurgia	1,25E-04	2,29E-04	1,78E-03	2,70E-05	1,43
Otras actividades empresariales					1,32
Fabricación de productos metálicos	4,35E-06	9,95E-08	1,42E-06	6,04E-07	1,29
Actividades anexas a los transportes	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+00	0,00E+00	4,89E-01
Maquinaria y equipo mecánico	1,31E-06	9,56E-07	4,01E-07	2,18E-07	4,01E-01
Reciclaje	2,05E-05	2,95E-07	4,46E-06	2,26E-07	2,54E-01
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	2,20E-06	6,79E-06	1,61E-05	7,94E-06	8,94E-02
Agricultura, ganadería y caza	2,71E-07	8,62E-09	8,07E-07	2,45E-07	5,19E-02
Saneamiento público de mercado	2,41E-07	7,22E-08	6,21E-06	4,27E-06	2,38E-02
Captación, depuración y distribución de agua	2,35E-07	7,04E-08	6,05E-06	4,17E-06	2,36E-02
Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio	4,34E-06	1,22E-05	6,57E-05	1,39E-05	1,11E-03
Resto de ramas	4,04E-04	8,11E-04	2,20E-04	3,64E-05	5,80
<b>TOTAL</b>	<b>8,78E-04</b>	<b>1,40E-03</b>	<b>2,14E-03</b>	<b>3,48E-04</b>	<b>16</b>

La Figura 48 muestra las ramas de actividad que mayor representación tiene para cada impacto estimado.



**Figura 48: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos de los edificios**

A partir de los resultados se pueden identificar algunas de las ramas de actividad que más contribuyen a los impactos asociados a los edificios de la planta termosolar.



La *Metalurgia* y la *Fabricación de otros productos minerales* son las ramas más relevantes en la generación de actividad económica, representando el 23% y 15% con respecto a la actividad económica total asociada a los edificios.

En el caso del consumo energético, la *Metalurgia* requiere el 22% del total asociado a este componente de la planta, y el *Transporte terrestre y por tubería* consume aproximadamente el 20%.

Cerca del 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> se debe a la rama de *Fabricación de otros productos minerales*. Asimismo, la *Metalurgia* es responsable del 18% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> asociadas a los edificios.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, se pueden destacar las ramas de actividad *Fabricación de otros productos minerales* y la *Agricultura*, que representan el 18,5% y 10% del total emitido respectivamente.

Se han estimado las emisiones de CH<sub>4</sub> asociadas a los edificios en 5,04E-04 g por kWh de electricidad, de los cuales el 31% se originan en la rama *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba*, el 28,4% en la rama *Saneamiento público de mercado* y el 12% en la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*.

Las ramas que más contribuyen a las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> son la *Fabricación de otros productos minerales*, que representa el 35% y 24% de las emisiones totales de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> respectivamente, y la *Metalurgia*, que supone el 14% y 16% las emisiones totales de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> respectivamente.

En el caso de las emisiones de CO, más del 80% de las estimadas tiene su origen en la rama de *Metalurgia*.

La rama que más contribuye a las emisiones de COVNM es el *Transporte terrestre y por tubería*, que emite el 72% de las emisiones totales. La *Metalurgia* representa el 8% de las emisiones de COVNM asociadas a los edificios.

La generación de empleo se origina mayoritariamente en la rama de *Fabricación de otros productos minerales*, que representa el 20% del empleo generado asociado a los edificios. El *Transporte terrestre y por tubería* representa el 10% del nuevo empleo. La *Metalurgia*, *Otras actividades empresariales* y la *Fabricación de productos metálicos* contribuyen al empleo total generado aproximadamente en un 8% cada una.

- ***Construcción de la infraestructura***

Al igual que en el ACV de la planta termosolar realizado anteriormente, se han tenido en cuenta el transporte de los materiales necesarios para la construcción así como la maquinaria de construcción.

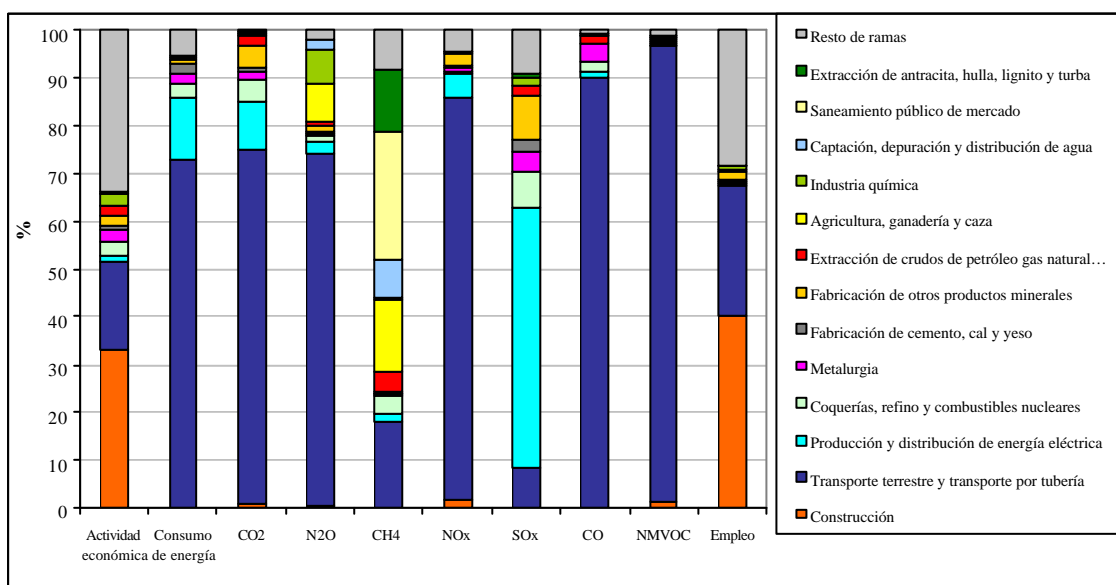
En la Tabla 56 se muestran los impactos estimados mediante el ACV –IO debidos a la construcción de la infraestructura.

**Tabla 56: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para la etapa de construcción de la infraestructura**

Por kWh de electricidad	Act. Económica €	Consumo de energía MJ	CO2 g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Construcción	3,64E-04	1,85E-05	6,03E-03	1,84E-07	1,75E-07
Transporte terrestre y transporte por tubería	2,01E-04	7,21E-03	5,11E-01	4,02E-05	6,70E-05
Producción y distribución de energía eléctrica	1,40E-05	1,28E-03	7,04E-02	1,38E-06	7,18E-06
Coquerías, refino y combustibles nucleares	3,14E-05	2,86E-04	3,06E-02	8,73E-07	1,45E-05
Metalurgia	2,65E-05	2,07E-04	9,88E-03	1,64E-07	1,25E-06
Fabricación de cemento, cal y yeso	7,49E-06	2,00E-04	8,44E-03	2,04E-07	2,22E-07
Fabricación de otros productos minerales	2,60E-05	8,48E-05	2,93E-02	7,09E-07	7,72E-07
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	2,16E-05	3,40E-06	1,36E-02	3,41E-07	6,13E-05
Agricultura, ganadería y caza	2,13E-06	4,89E-06	3,78E-04	4,42E-06	5,69E-05
Industria química	2,43E-05	6,36E-05	3,93E-03	3,81E-06	1,64E-06
Captación, depuración y distribución de agua	1,18E-06	4,52E-06	0,00E+00	1,25E-06	2,98E-05
Saneamiento público de mercado	9,44E-07	2,08E-07	2,10E-05	8,25E-09	1,01E-04
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	1,58E-06	5,57E-06	8,10E-04	3,27E-08	4,82E-05
Resto de ramas	3,72E-04	5,41E-04	3,88E-03	9,93E-07	8,48E-06
<b>TOTAL</b>	<b>1,09E-03</b>	<b>9,91E-03</b>	<b>6,88E-01</b>	<b>5,45E-05</b>	<b>3,77E-04</b>

Por kWh electricidad	NOx g	SOx g	CO g	COVMg	Empleo
Construcción	7,87E-05	1,51E-06	2,23E-05	5,88E-05	22,5
Transporte terrestre y transporte por tubería	3,76E-03	1,09E-04	9,59E-03	4,21E-03	15,2
Producción y distribución de energía eléctrica	2,26E-04	6,92E-04	1,10E-04	1,26E-05	1,34E-01
Coquerías, refino y combustibles nucleares	2,51E-05	9,56E-05	2,28E-04	2,08E-05	5,20E-02
Metalurgia	2,86E-05	5,25E-05	4,07E-04	6,19E-06	3,28E-01
Fabricación de cemento, cal y yeso	3,05E-05	3,39E-05	2,66E-06	9,99E-08	1,36E-01
Fabricación de otros productos minerales	1,06E-04	1,18E-04	9,24E-06	3,47E-07	1,10
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	1,03E-05	2,91E-05	1,56E-04	3,30E-05	2,63E-03
Agricultura, ganadería y caza	1,19E-06	3,79E-08	3,55E-06	1,08E-06	2,28E-01
Industria química	1,22E-05	2,16E-05	2,76E-06	4,04E-06	3,37E-01
Captación, depuración y distribución de agua	4,98E-07	1,49E-07	1,28E-05	8,81E-06	4,98E-02
Saneamiento público de mercado	3,99E-07	1,19E-07	1,03E-05	7,06E-06	3,94E-02
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	1,60E-06	4,93E-06	1,17E-05	5,76E-06	6,49E-02
Resto de ramas	1,93E-04	1,19E-04	7,71E-05	5,01E-05	15,7
<b>TOTAL</b>	<b>4,48E-03</b>	<b>1,28E-03</b>	<b>1,06E-02</b>	<b>4,42E-03</b>	<b>56</b>

La Figura 49 muestra las ramas de actividad con mayor contribución a los impactos analizados durante la etapa de construcción.



**Figura 49: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos de la construcción**

La generación de actividad económica se produce principalmente en dos ramas de actividad, la *Construcción* que representa más del 33% de la actividad económica de

esta etapa y la rama de *Transporte terrestre y por tubería*, que contribuye en el 18% a la actividad económica total.

En cuanto al consumo energético, destaca la rama de *Transporte terrestre y por tubería*, que requiere el 73% de la energía total. La *Producción y distribución de energía eléctrica* consume el 13% de la energía total requerida en la etapa de construcción de la planta termosolar.

En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el *Transporte terrestre y por tubería* genera la mayor parte de estas emisiones aportando el 74% del total. La *Producción y distribución de energía eléctrica* representa el 10% de éstas en la etapa de construcción. La rama *Coquerías, refino y combustibles nucleares* y la rama *Fabricación de otros productos minerales* aportan cada una el 4,4% de las emisiones totales.

Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, el *Transporte terrestre y por tubería* supone el menos del 74% de estas emisiones. Además destacan dos ramas, la *Agricultura, ganadería y caza*, que representa el 8% del total emitido y la *Industria química*, que representa el 7% de las emisiones totales de N<sub>2</sub>O.

La rama *Saneamiento público de mercado* representa el 27% de las emisiones de CH<sub>4</sub> estimadas por el ACV –IO para la etapa de construcción de la planta. La rama *Transporte terrestre y por tubería* es responsable del 18% de las emisiones de CH<sub>4</sub> asociadas a la construcción. Destacan asimismo otras ramas como la *Agricultura, caza y ganadería* y la *Extracción de antracita, hulla, lignito y turba*, que representan el 15% y 13% del total emitido respectivamente.

La rama con mayores emisiones de NO<sub>x</sub> en esta etapa es el *Transporte terrestre y por tubería* que supone el 84% del total emitido. La *Producción y distribución de energía eléctrica* es la segunda rama que más contribuye a estas emisiones, generando el 5% del total.

Las emisiones de SO<sub>x</sub> se originan principalmente en la rama *Producción y distribución de energía eléctrica*, que representa el 54% de las emisiones de esta etapa. La *Fabricación de otros productos minerales* representa el 9% de las emisiones de SO<sub>x</sub>, y la rama *Transporte terrestre y por tubería* es responsable del 8,5% de estas emisiones.

En cuanto a las emisiones de CO, el *Transporte terrestre y por tubería* es responsable del 90% de éstas en la etapa de construcción de la planta termosolar. La *Metalurgia* representa el 4% de las emisiones de CO en esta etapa.

La etapa de construcción de la planta genera 0,09 g de COVNM según el ACV –IO, de los cuales el 95% se debe a la rama *Transporte terrestre y por tubería*. La rama *Construcción* contribuye sólo en el 1% de las emisiones.

Finalmente, se estimaron los empleos generados. El 40% de los empleos se originan en la rama de actividad *Construcción*. La rama de *Transporte terrestre y por tubería* es responsable del 27% de los empleos de esta fase.

- *Operación y Mantenimiento de la Planta*

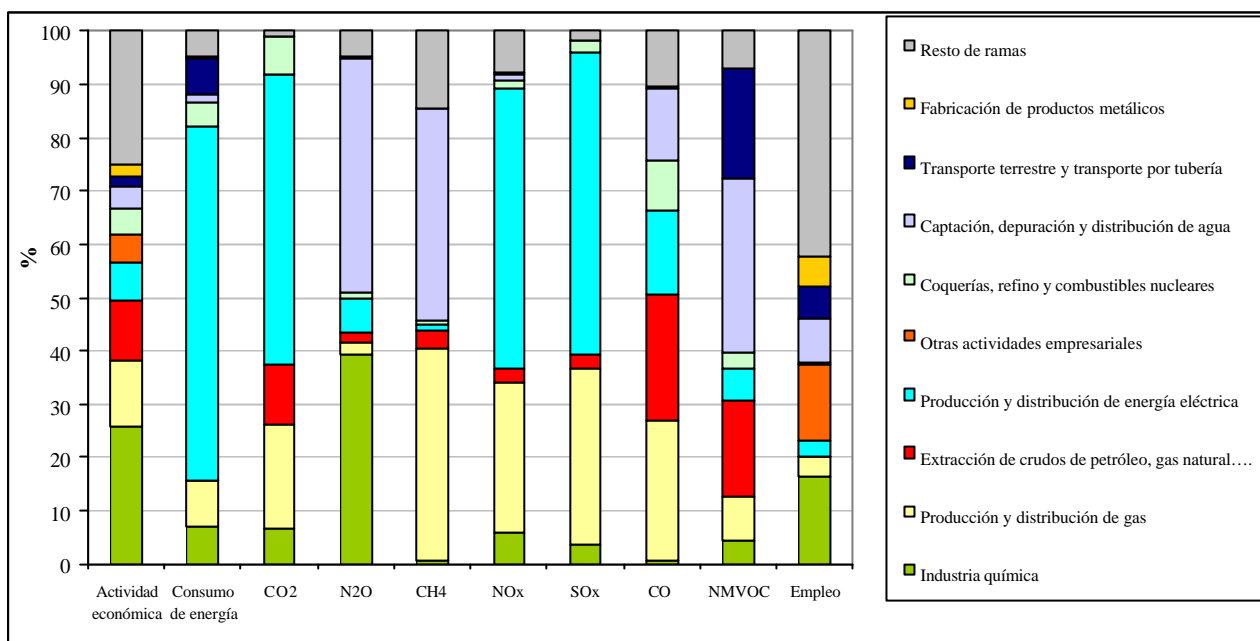
Las ramas de actividad con mayor contribución a los impactos estimados por el ACV-IO para la etapa de operación y mantenimiento se muestran en la Tabla 57.

**Tabla 57: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para la etapa de operación y mantenimiento**

Por kWh de electricidad	Act. Económica €	Consumo de energía MJ	CO <sub>2</sub> g	N <sub>2</sub> O g	CH <sub>4</sub> g
Industria química	2,44E-02	6,39E-02	3,95E+00	3,83E-03	1,65E-03
Producción y distribución de gas	1,15E-02	7,69E-02	1,19E+01	2,39E-04	1,03E-01
Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio	1,08E-02	1,71E-03	6,82E+00	1,71E-04	8,02E-03
Producción y distribución de energía eléctrica	6,49E-03	5,93E-01	3,27E+01	6,42E-04	3,34E-03
Otras actividades empresariales	5,19E-03	1,15E-03	6,13E-02	9,91E-07	1,21E-05
Coquerías, refino y combustibles nucleares	4,29E-03	3,90E-02	4,18E+00	1,19E-04	1,97E-03
Captación, depuración y distribución de agua	4,02E-03	1,55E-02	0,00E+00	4,28E-03	1,02E-01
Transporte terrestre y transporte por tubería	1,66E-03	5,96E-02	5,15E-02	1,10E-05	5,54E-04
Fabricación de productos metálicos	2,28E-03	2,53E-03	3,54E-02	1,22E-06	8,68E-07
Resto de ramas	2,35E-02	4,37E-02	5,80E-01	4,81E-04	3,70E-02
Uso directo de gas natural y electricidad		2,15	95,42	5,09E-04	1,83E-03
<b>TOTAL</b>	9,42E-02	3,05	155,70	1,03E-02	2,59E-01

Por kWh electricidad	NO <sub>x</sub> g	SO <sub>x</sub> g	CO g	COVNM g	Empleo
Industria química	1,22E-02	2,17E-02	2,78E-03	4,06E-03	338
Producción y distribución de gas	5,60E-02	1,86E-01	8,56E-02	7,51E-03	73,8
Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio	5,17E-03	1,46E-02	7,84E-02	1,65E-02	1,32
Producción y distribución de energía eléctrica	1,05E-01	3,22E-01	5,13E-02	5,87E-03	62,5
Otras actividades empresariales					289
Coquerías, refino y combustibles nucleares	3,43E-03	1,31E-02	3,12E-02	2,84E-03	7,10
Captación, depuración y distribución de agua	1,70E-03	5,09E-04	4,37E-02	3,01E-02	170
Transporte terrestre y transporte por tubería	8,23E-04	1,02E-05	8,59E-04	1,91E-02	126
Fabricación de productos metálicos	3,83E-04	8,77E-06	1,25E-04	5,33E-05	114
Resto de ramas	1,54E-02	9,39E-03	3,43E-02	6,27E-03	869
Uso directo de gas natural y electricidad	1,11E-01	4,77E-04	6,68E-02		
<b>TOTAL</b>	3,11E-01	5,68E-01	3,95E-01	9,23E-02	2050

La Figura 50 muestra las ramas de actividad con mayor contribución a los impactos analizados durante la etapa de operación y mantenimiento.



**Figura 50: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos de la etapa de operación y mantenimiento**

La actividad económica generada por la etapa de operación y mantenimiento de la planta se ha estimado en  $9,42E-02 \text{ €}_{2000}$ . El 26% de esta actividad se genera en la *Industria química*. La rama *Producción y distribución de gas* es responsable del 12% de la actividad económica de la etapa. Otras ramas como la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* y la *Producción y distribución de energía eléctrica* contribuye con el 11,5% y 7% respectivamente.

La *Producción y distribución de energía eléctrica* requiere el 66% de la energía necesaria en la etapa de operación y mantenimiento, sin tener en cuenta el uso directo del gas natural y la electricidad. Asimismo, la *Producción y distribución de gas natural* y la *Industria química* representan el 8,5% y el 7% del consumo energético respectivamente.

En lo que se refiere a emisiones de CO<sub>2</sub>, la *Producción y distribución de energía eléctrica* es responsable del 54%. Destaca también la *Producción y distribución de gas natural* que representa el 20%. La *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* y la *Industria química* contribuyen en un 11% y 4,5% al total emitido en esta etapa.

El principal origen de las emisiones de N<sub>2</sub>O se deben a la *Captación, depuración y distribución de agua* y a la *Industria Química*, que representan aproximadamente el 44% y 39% de las emisiones totales.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> de la *Producción y distribución de gas natural* suponen el 40% del total emitido. Asimismo, la *Captación, depuración y distribución de agua* representa el 39,5%.

En cuanto a las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> son dos las ramas que contribuyen de manera más relevante. La rama de *Producción y distribución de energía eléctrica* origina el 52% de las emisiones de NO<sub>x</sub> y el 57% de las emisiones de SO<sub>x</sub>, mientras que la rama *Producción y distribución de gas* representa el 28% de las emisiones totales de NO<sub>x</sub> y el 33% de los SO<sub>x</sub> emitidos en esta etapa.

Las emisiones de CO en esta etapa se distribuyen en varias ramas de actividad. Las ramas *Producción y distribución de gas* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* originan el 26% y 24% de estas emisiones respectivamente. La *Producción y distribución de energía eléctrica* aporta entorno al 16% al conjunto de CO emitido en la etapa. Otras ramas como la *Captación, depuración y distribución de agua* y *Coquerías, refino y combustibles nucleares* representan el 13% y 9,5% respectivamente.

Las emisiones de COVNM se originan principalmente en la rama *Captación, depuración y distribución de agua*, que representa el 32,6% de las totales. El *Transporte*



*terrestre y por tubería* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio* contribuyen al total emitido con el 20,6% y 18% respectivamente. Por último, la *Producción y distribución de gas* representa el 8%.

Finalmente, se estimaron los empleos generados. Esta etapa genera en la vida útil de la planta 2050 nuevos empleos, de los que el 16,5% se darán en la rama *Industria química* y el 14% en la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*. La *Captación, depuración y distribución de agua* representa el 8% de los empleos generados. Asimismo, el *Transporte terrestre y por tubería* y la *Fabricación de productos metálicos* representan cada una alrededor del 6% de los nuevos empleos.

Los resultados de la herramienta ACV –IO permiten identificar las oportunidades de mejora de la producción de electricidad en la planta termosolar de manera que disminuyan los impactos medioambientales estimados. La etapa de operación y mantenimiento es la principal responsable de los impactos analizados. La mejora de los procesos de producción y distribución de electricidad y gas natural, de la extracción de combustibles fósiles y procesos de coquería y refino, así como de los procesos de producción de químicos supondrían una importante reducción de los impactos analizados. Esta mejora podría estimarse mediante la realización de análisis de sensibilidad en los que la planta operase con otras fuentes energéticas o incluso consumiera la propia energía generada.

### 6.3.3 COMPARACIÓN DE LAS DOS METODOLOGÍAS APLICADAS A LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA PLANTA TERMOSOLAR

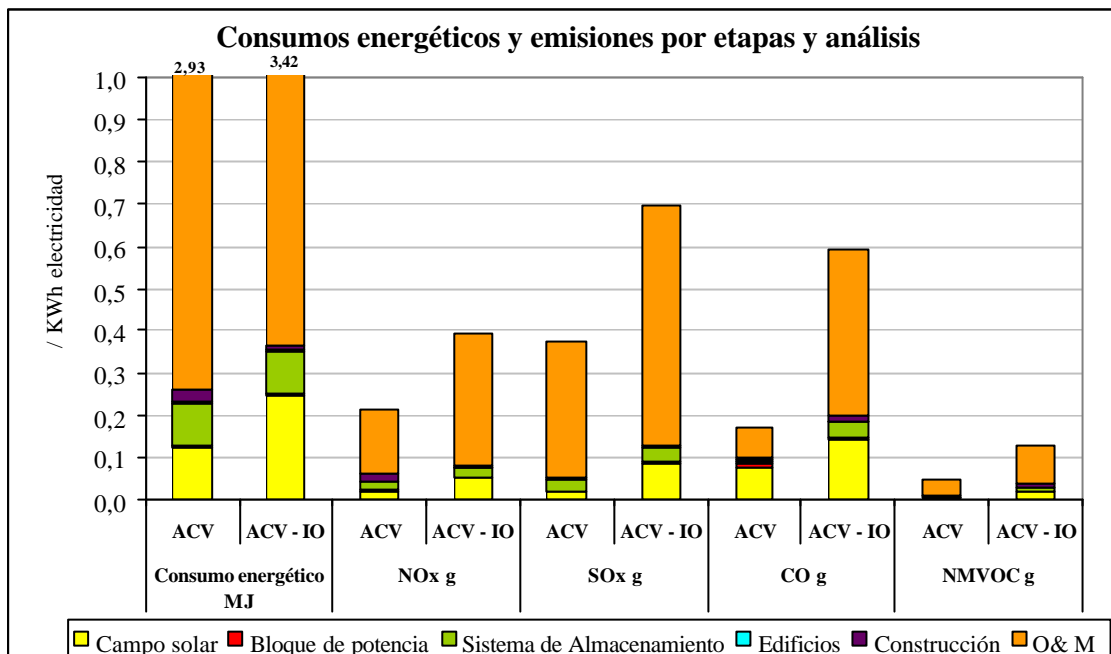
En este apartado se analizan las diferencias más relevantes entre los resultados obtenidos mediante la aplicación del ACV y del ACV –IO.

Las Tabla 58 y Tabla 59 muestran los resultados de los impactos analizados mediante las dos metodologías a lo largo del ciclo de vida de la planta termosolar por kWh de electricidad. Los resultados se presentan separados en los componentes de la planta solar, la etapa de construcción y la etapa de operación y mantenimiento.

**Tabla 58: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO**

Por kWh		Planta Solar					Construcción	O&M
		Total	Campo solar	Bloque de potencia	Sistema de Almacen.	Edificios		
Consumo energía MJ	ACV	2,93	1,22E-01	5,12E-03	1,02E-01	5,68E-03	2,74E-02	2,67
	ACV - IO	3,42	2,46E-01	7,26E-03	9,83E-02	3,98E-03	9,91E-03	3,05
NOx g	ACV	0,21	2,16E-02	6,87E-04	2,20E-02	8,35E-04	1,28E-02	0,157
	ACV - IO	0,39	5,20E-02	1,21E-03	2,17E-02	8,78E-04	4,48E-03	0,31
SOx g	ACV	0,37	2,07E-02	8,38E-04	2,59E-02	5,76E-04	5,98E-03	0,32
	ACV - IO	0,70	8,71E-02	2,26E-03	3,66E-02	1,40E-03	1,28E-03	0,57
CO g	ACV	0,17	7,80E-02	3,64E-03	9,73E-03	2,46E-03	3,79E-03	7,12E-02
	ACV - IO	0,58	1,42E-01	6,50E-03	3,63E-02	2,14E-03	1,06E-02	0,39
COVNM g	ACV	0,05	3,56E-03	1,24E-04	1,92E-03	1,56E-04	1,96E-03	3,96E-02
	ACV - IO	0,13	2,07E-02	5,80E-04	8,96E-03	3,48E-04	4,42E-03	9,23E-02

En la Figura 51 se observa que la energía consumida a lo largo del ciclo de vida según el ACV –IO para obtener 1kWh de electricidad es superior a la estimada mediante el ACV.



**Figura 51: Consumos e nergéticos y emisiones por etapas y metodología**

La producción de 1 kWh de electricidad en la planta termosolar requiere 2,93 MJ a lo largo del ciclo de vida según el ACV, mientras que la metodología ACV –IO estima este consumo en 3,42 MJ. Para poder identificar el origen de las diferencias, es necesario analizar los resultados por etapas. En la Tabla 58 se observa que en el sistema de almacenamiento y en los edificios los consumos energéticos estimados son menores en el ACV –IO que en el ACV. El sistema de almacenamiento consta principalmente de sales fundidas que se asocian a la rama *Industria Química* en el ACV –IO. Como ya se ha mostrado anteriormente, el nivel de agregación de esta rama, en la que se incluyen desde agroquímicos hasta jabones, no permite estimar adecuadamente los impactos, en este caso el consumo energético del sistema de almacenamiento. En la etapa de construcción, el consumo energético es superior en el ACV que en el ACV –IO. En

cuanto a la etapa de operación y mantenimiento se estimó el consumo de 3,05 MJ por kWh según el ACV –IO y 2,67 MJ según el ACV.

Con respecto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, según el ACV –IO se emiten 0,39 g de NO<sub>x</sub> por kWh de electricidad a lo largo del ciclo de vida mientras que el ACV estima la emisión de 0,21 g. Las emisiones de NO<sub>x</sub> estimadas por el ACV –IO son mayores a las estimadas por el ACV en todas las etapas debido a la ausencia de límites del sistema que excluyan del análisis procesos relevantes, excepto en la construcción. En la etapa de construcción de la infraestructura, las emisiones de NO<sub>x</sub> estimadas por el ACV son superiores a las estimadas por el ACV –IO.

Lo mismo ocurre con las emisiones de SO<sub>x</sub>. En todas las etapas excepto en la construcción, las emisiones estimadas por el ACV –IO son superiores a las obtenidas por el ACV.

Según el ACV –IO se emiten 0,58 g de CO por kWh de electricidad a lo largo del ciclo de vida, mientras la estimación de las emisiones de CO según el ACV alcanza los 0,17 g de CO. La estimación de estas emisiones es mayor en el ACV –IO que en el ACV en todas las etapas excepto en la etapa de construcción de la infraestructura y en el componente edificios de la planta solar.

Con respecto a las emisiones de COVNM, se estimó la emisión de 0,13 g según el ACV –IO y de 0,05 g según el ACV. El ACV –IO estimó emisiones superiores en todas las etapas con respecto a las estimaciones del ACV. La necesidad de definir los límites del sistema en el ACV impide incluir todos los procesos implicados en éste, dejando fuera del análisis procesos cuya contribución al impacto puede ser relevante.

En la Tabla 59 se comparan los resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero por ambas metodologías. Estos resultados también se muestran en la Figura 53.

**Tabla 59: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO**

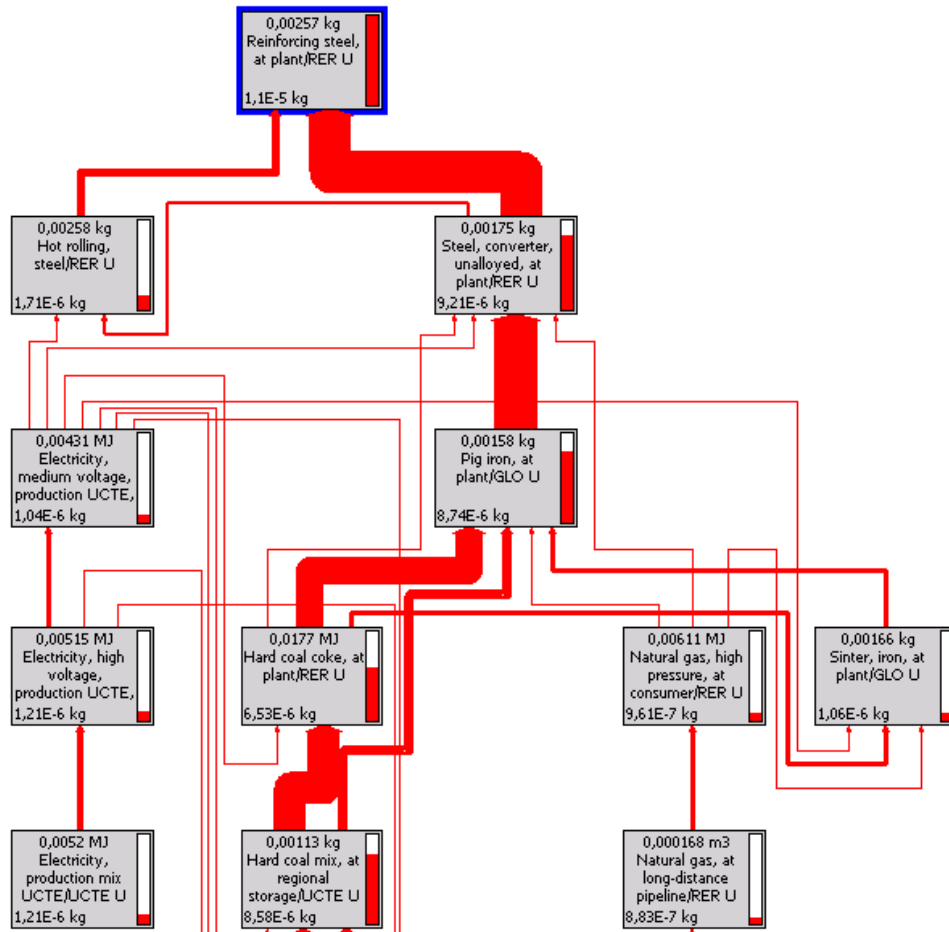
g CO <sub>2</sub> eq. / kWh	Planta Solar					Construcción	O & M	
	Total	Campo solar	Bloque de potencia	Sistema de Almacén.	Edificios			
CO <sub>2</sub>	ACV	159,84	8,62	0,31	5,08	0,48	1,61	143,74
	ACV - IO	177,52	14,37	0,33	6,17	0,23	0,69	155,73
CH <sub>4</sub>	ACV	15,88	5,11E-01	2,30E-02	2,90E-01	2,20E-02	4,51E-02	14,99
	ACV - IO	7,08	3,88E-01	1,15E-02	1,86E-01	5,38E-03	9,41E-03	6,48
N <sub>2</sub> O	ACV	10,49	2,36E-02	1,38E-03	9,96	1,17E-03	1,48E-02	4,86E-01
	ACV - IO	3,64	3,21E-01	6,08E-03	2,38E-01	3,28E-03	1,63E-02	3,07

La producción de 1kWh de electricidad en la planta termosolar emite 177,01g de CO<sub>2</sub> según el ACV –IO y 159,84 g según el ACV a lo largo del ciclo de vida. En todas las etapas, excepto en los edificios de la planta solar y la etapa de construcción, el ACV –IO estima emisiones de CO<sub>2</sub> superiores a las obtenidas por el ACV, ya que la primera metodología tiene en cuenta todos los procesos implicados en el sistema al no definir límites que excluyan procesos.

En este sentido llama la atención el caso de las emisiones de CH<sub>4</sub>, en las que todas las estimaciones del ACV son mayores que las del ACV –IO, a pesar de que éste considera todos los procesos que intervienen en el sistema analizado. El ACV estima la emisión de 15,88 g CO<sub>2</sub> equiv. por kWh a lo largo del ciclo de vida analizado, mientras que el ACV –IO estima la emisión de 7,08 g de CO<sub>2</sub> equiv.

En el ACV, las emisiones de CH<sub>4</sub> para el campo solar se deben principalmente a la estructura metálica, a los cimientos del captador y al aceite térmico. La estructura metálica, fabricada principalmente con acero, emite 1,11E-2 g de CH<sub>4</sub> por kWh. A

través del ACV, se puede identificar que el 80% de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la estructura metálica se deben al consumo de combustibles fósiles y electricidad, así como a la extracción de los mismos. La Figura 52 muestra las emisiones de CH<sub>4</sub> de los procesos implicados en la producción del acero por kWh.



**Figura 52: Emisiones de CH<sub>4</sub> de los procesos implicados en la producción de acero para el campo solar.**

Ocurre lo mismo en el caso del cemento del captador, que emite 5,05E-3 g de CH<sub>4</sub> por kWh. El 40% de estas emisiones se deben al consumo y la extracción de combustibles fósiles.

Aunque las emisiones de CH<sub>4</sub> del campo solar para el ACV son superiores a las del ACV -IO, éste señala correctamente el principal origen de las emisiones, identificando como ramas de actividad responsables de estas emisiones para el campo solar la

*Extracción de antracita, lignito, hulla y turba y la Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio.*

Según el ACV, las emisiones de CH<sub>4</sub> del bloque de potencia se deben principalmente al generador de vapor. Al igual que en la estructura metálica del campo solar, el generador de vapor está compuesto principalmente de acero. El consumo de combustibles fósiles y electricidad así como la obtención de los mismos genera la mayor parte de las emisiones de CH<sub>4</sub>. El ACV –IO asocia las emisiones de CH<sub>4</sub> a la *Extracción de antracita, lignito, hulla y turba* y a la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*, seguidas de la *Metalurgia*.

En el caso de las emisiones de CH<sub>4</sub> es posible que el origen de las discrepancias esté en los inventarios de los vectores

En el caso del sistema de almacenamiento, el origen de las emisiones de CH<sub>4</sub> en el ACV son las sales fundidas y el acero utilizado en los tanques de almacenamiento, y en consecuencia, el consumo y extracción de combustibles fósiles. En el ACV –IO se identifican como ramas relevantes en la emisión de CH<sub>4</sub> para el sistema de almacenamiento el *Saneamiento público de mercado*, la *Extracción de antracita, lignito, hulla y turba* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*. La *Industria química* es responsable del 3,33% de las emisiones de CH<sub>4</sub> según el ACV –IO, una contribución muy pequeña con respecto a la estimada por el ACV. Sin embargo, la agregación de la rama de actividad *Industria química* puede justificar estas diferencias, ya que bienes muy diferentes se incluyen en esta rama. Al igual que en casos anteriores se ha utilizado la herramienta EIO-LCA de Estados Unidos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> de distintos productos químicos separados en sectores, que en España se incluyen en la rama *Industria química*.

Los resultados se muestran en la Tabla 60.

**Tabla 60: Emisiones de CH<sub>4</sub> estimados para distintas demandas de productos químicos mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos**

<b>Rama de actividad – EIO LCA USA</b>	<b>Emisiones de CH<sub>4</sub> t de CO<sub>2</sub> equiv. / millón de \$</b>
Fabricación de fertilizantes nitrogenados	498
Fabricación de material plástico y resinas	210
Fabricación de pinturas	123
Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos	113
Fabricación de jabones y detergentes	77,6

La demanda de 1 millón de dólares de fertilizantes produce seis veces más emisiones que la demanda de la misma cantidad de jabones. En el caso de Estados Unidos, donde existen 491 ramas de actividad, los problemas de agregación no repercuten tanto como en el caso de España, con 73 ramas de actividad.

En la etapa de construcción de la infraestructura, las emisiones de CH<sub>4</sub> se deben principalmente al transporte de los materiales y a la utilización de maquinaria de construcción según el ACV. Sin embargo, las principales ramas responsables de estas emisiones en el ACV –IO son el *Saneamiento público de mercado* en primer lugar, seguido del *Transporte terrestre y por tubería* y la *Extracción de crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio*.

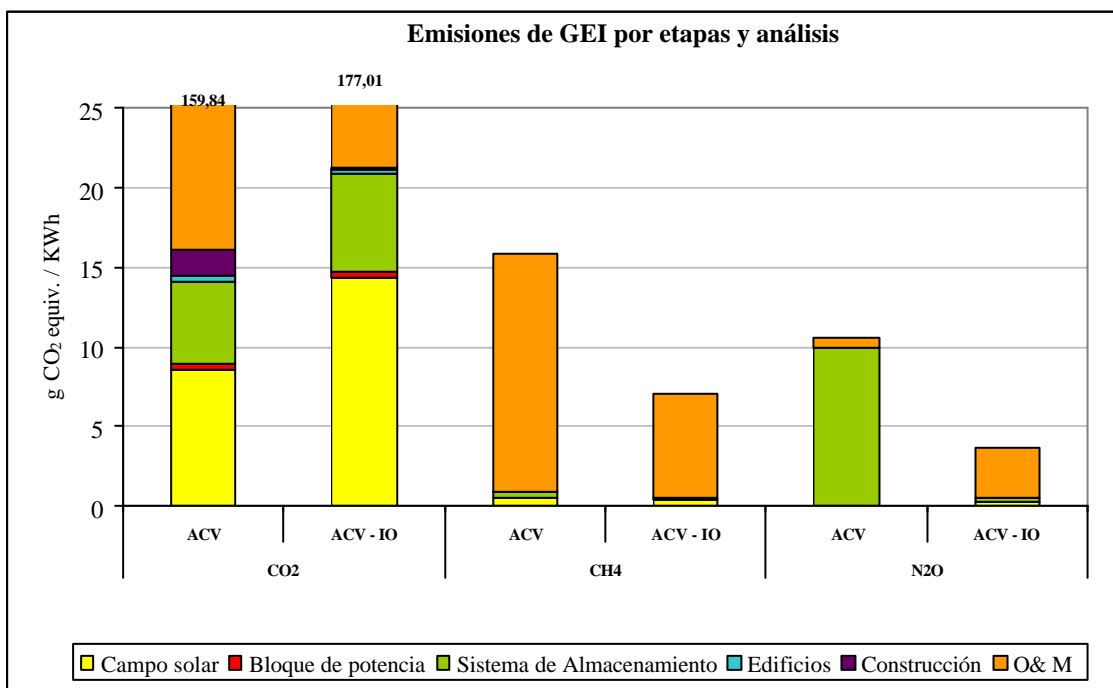
En cuanto a la etapa de operación y mantenimiento, las emisiones de CH<sub>4</sub> estimadas por el ACV son más del doble de las obtenidas en el ACV –IO. En el ACV se ha estimado que el 75% de las emisiones de CH<sub>4</sub> se deben al gas natural que se necesita para el funcionamiento de la planta y el 24% a la electricidad que se consume. La distribución del gas natural emite 0,387 g de CH<sub>4</sub> por kWh de electricidad, mientras que el resto de emisiones se produce en la quema del gas. Las emisiones de CH<sub>4</sub> se deben principalmente a las pérdidas de gas durante la distribución. Estudios independientes



encargados por el Ministerio de Industria<sup>11</sup> estiman estas pérdidas en el 1% del total de gas transportado. En el caso del ACV, el proceso tomado de la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent, 2007) estima las emisiones de CH<sub>4</sub> debidas a la distribución del gas en el 1,65%.

Por otro lado, para la elaboración del vector ambiental de emisiones de CH<sub>4</sub>, se ha tenido en cuenta las pérdidas de gas natural durante la distribución del mismo por valor de 32753,52 t de CH<sub>4</sub>. Teniendo en cuenta que en el año 2000 se distribuyeron en España 70800,95 TJ de gas (CORES, 2001), las emisiones de CH<sub>4</sub> en el ACV –IO debidas a la pérdida en la distribución de gas es el 0,25% del gas distribuido, muy por debajo del 1,65% considerado en Ecoinvent.

Por ello, las diferencias existentes entre los resultados de ambas metodologías pueden tener su origen en la divergencia de los datos originales utilizados, que han supuesto distintos porcentajes de pérdida de gas durante la distribución del mismo.



**Figura 53: Consumos energéticos y emisiones por etapas y metodología**

<sup>11</sup> Información obtenida de la página web <http://www.mityc.es/energia/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>. los estudios a los que se refiere la página no se citan en la misma.

En referencia al N<sub>2</sub>O, la producción de 1 kWh de electricidad en la planta termosolar emite 10,49 g de CO<sub>2</sub> equiv. a lo largo del ciclo de vida según el ACV y 3,64 g de CO<sub>2</sub> equiv. según el ACV –IO. En la Figura 53 se puede observar como en la etapa de operación y mantenimiento, las estimaciones de N<sub>2</sub>O emitido del ACV –IO son mayores que las del ACV. La Tabla 59 también muestra que las emisiones de N<sub>2</sub>O son superiores en el ACV –IO para todos los componentes del campo solar excepto para el sistema de almacenamiento y la construcción.

Las emisiones de N<sub>2</sub>O estimadas por el ACV del sistema de almacenamiento son 40 veces superiores a las estimadas por el ACV –IO. Al igual que se hizo en la comparación de resultados para el caso de la producción de bioetanol, se han estimado las emisiones de N<sub>2</sub>O con la herramienta EIO-LCA de Estados Unidos para diferentes productos químicos. Los resultados se muestran en la Tabla 61.

**Tabla 61: Emisiones de N<sub>2</sub>O estimados para distintas demandas de productos químicos mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos**

Rama de actividad – EIO-LCA USA	Emisiones de N <sub>2</sub> O t de CO <sub>2</sub> equiv. / millón de \$
Fabricación de fertilizantes nitrogenados	6080
Fabricación de material plástico y resinas	74,9
Fabricación de pinturas	61,9
Fabricación de pesticidas y otros agroquímicos	113
Fabricación de jabones y detergentes	62,6

Las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a la *Fabricación de pinturas* por valor de un millón de \$ se estiman en 61,9 t de CO<sub>2</sub> equiv., 100 veces menos que las emisiones originadas por la *Fabricación de fertilizantes nitrogenados*. La contabilidad nacional estadounidense permite estimar estas diferencias, sin embargo, la contabilidad nacional española incluye la fabricación de estos productos químicos dentro de la rama *Industria química*, por lo que las emisiones de N<sub>2</sub>O debidas a la fabricación de uno u otro producto son consideradas iguales. La consecuencia de esta agregación es la obtención de resultados que no representan el bien objeto de estudio.

Finalmente, cabe destacar las diferencias existentes entre los resultados del ACV y el ACV –IO para la mayor parte de los impactos analizados en la etapa de construcción de la planta. En ambos análisis se han tenido en cuenta los mismos medios de transporte, distancias y cantidades distribuidas, aunque los datos de entrada son monetarios en el caso del ACV –IO y físicos en el caso del ACV. En este sentido, se ha realizado el análisis del transporte de 1tkm para cada medio utilizado y para cada herramienta. Los resultados se muestran en Tabla 62.

**Tabla 62: Emisiones estimados mediante el ACV y el ACV –IO para el transporte de 1tkm en distintos medios**

Por tkm	Camión 28t		Camión 40t		Tren		Barco	
	ACV	ACV-IO	ACV	ACV-IO	ACV	ACV-IO	ACV	ACV-IO
CO <sub>2</sub> g	1,31E+02	1,52E+02	9,91E+01	9,81E+01	3,82E+01	6,05E-01	1,05E+01	5,26E-03
N <sub>2</sub> O g	1,77E-03	1,16E-02	3,74E-01	7,45E-03	1,02E-03	7,03E-05	2,69E-04	3,40E-07
CH <sub>4</sub> g	1,87E-01	5,19E-02	1,43E-01	3,32E-02	5,71E-02	6,50E-04	7,83E-03	4,37E-06
NO <sub>x</sub> g	1,08E+00	1,04E+00	3,74E-01	6,66E-01	1,89E-01	7,79E-03	1,43E-01	2,43E-04
SO <sub>x</sub> g	1,45E-01	1,47E-01	1,12E-01	9,44E-02	9,70E-02	4,07E-03	1,35E-01	6,23E-05
CO g	3,62E-01	2,64E+00	1,54E-01	1,69E+00	1,11E-01	8,54E-03	2,25E-02	3,47E-05
COVNMg	1,92E-01	1,13E+00	1,21E-01	7,22E-01	2,18E-02	6,70E-03	1,01E-02	3,91E-05

La tabla muestra que hay diferencias notables entre la estimación del ACV y el ACV –IO de las emisiones de los distintos medios utilizados.

En el caso del transporte en camión de 28 toneladas, tal y como se esperaba, todas las estimaciones de emisiones son superiores en el ACV –IO que en el ACV, excepto para las emisiones de CH<sub>4</sub> y de NO<sub>x</sub>, mientras que con respecto al transporte en camión de 40 toneladas, sólo las estimaciones de los gases CO y COVNM son superiores en el ACV –IO que en el ACV.

En cuanto al tren, las diferencias entre las estimaciones aumentan respecto a los otros medios de transporte, siendo superiores las emisiones del ACV en todos los casos. Estas diferencias son muy notables en el transporte en barco, donde las emisiones estimadas por el ACV son hasta cuatro órdenes de magnitud superiores a las del ACV –IO. Varias son las razones que podrían explicar estos resultados.

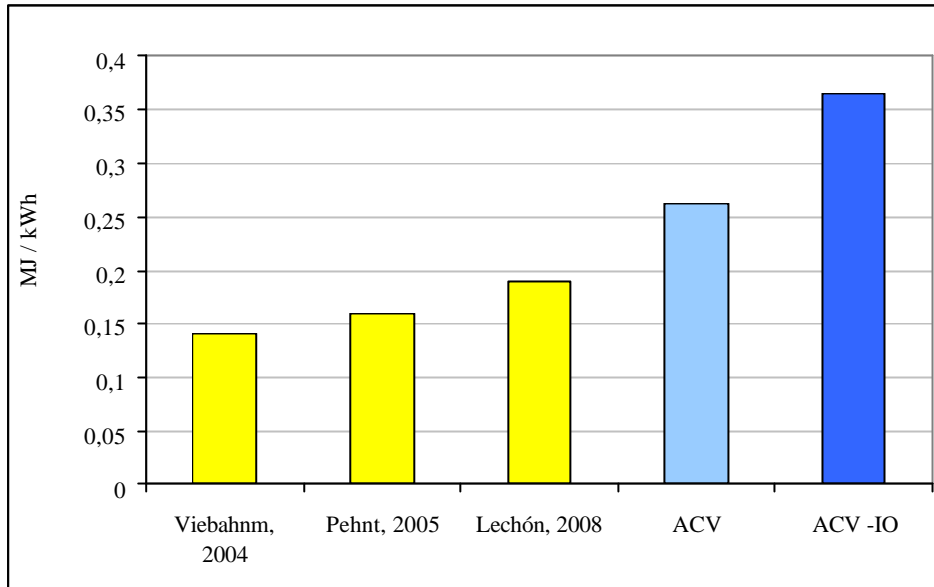
Nuevamente, la falta de diferenciación dentro de cada rama de actividad entre distintos bienes puede originar estas diferencias. Las ramas de actividad referidas a los transportes en el ACV –IO agrupan medios de transporte con tecnologías diversas, considerando de igual modo la utilización de un medio de transporte que utilice la mejor tecnología disponible al que utiliza una tecnología antigua.

Pueden también existir discrepancias entre los inventarios de emisiones tomados para el desarrollo del ACV –IO y los datos que se utilizaron para elaborar las bases de datos usadas en el ACV.

Por último, podría deberse a la utilización de costes de transporte inapropiados o inferiores a los reales en el ACV –IO, de modo que los resultados sean inferiores a los reales.

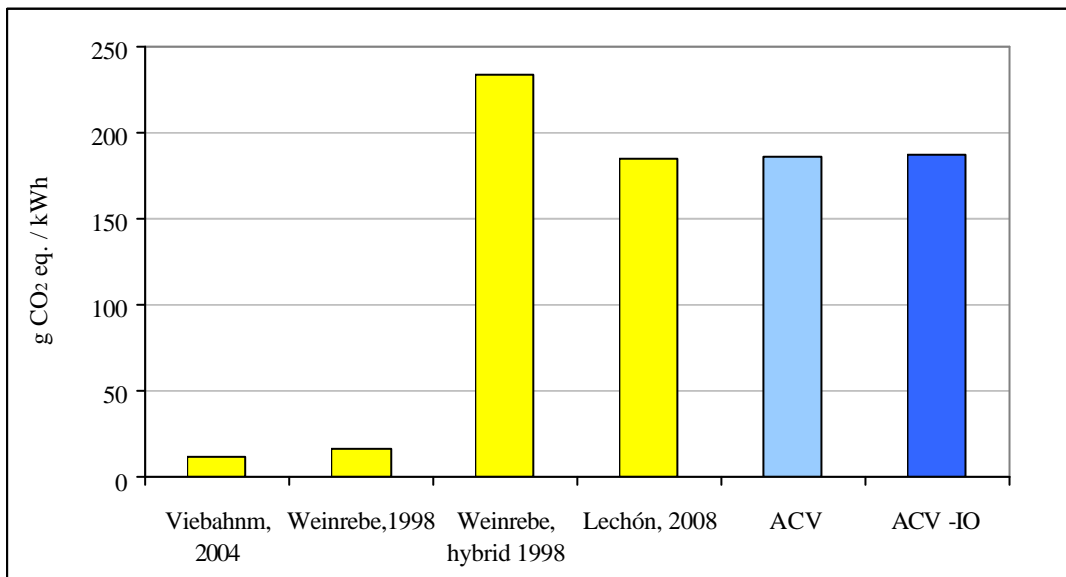
#### **6.3.3.1 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS PUBLICADOS**

Se han consultado estudios similares publicados en la literatura científica. La Figura 54 muestra la estimación de los consumos energéticos en varios estudios de plantas termosolares, cuyos valores oscilan entre 0,14 MJ y 0,19 MJ por kWh (Pehnt, 2005; Viebahn, 2006). Estos valores no incluyen el consumo energético debido al uso de combustibles fósiles en la etapa de operación y mantenimiento, por lo que esta etapa también se ha excluido del ACV y del ACV –IO en la figura, de modo que puedan ser comparables.



**Figura 54: Consumo energético de la producción de electricidad en plantas termosolares en otras fuentes consultadas**

Las emisiones de gases de efecto invernadero estimadas en otros estudios se muestran en la Figura 55. Los valores oscilan entre 12 g de CO<sub>2</sub> equiv y 234 g de CO<sub>2</sub> equiv. para una planta híbrida, en la que se consume combustible fósil durante la operación y mantenimiento (Viebahn, 2004; Weinrebe et al., 1998).



**Figura 55: Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de electricidad en plantas termosolares en otras fuentes consultadas**

Caldés analiza los impactos económicos de dos plantas termosolares en España utilizando el análisis Input-Output (Caldés et al., 2009). La actividad económica generada para la planta de tecnología cilindro-parabólica se estimó en 0,195 €por kWh, siendo la estimada por esta tesis 0,14 €<sub>2000</sub> o 0,18 €<sub>2008</sub>. También se obtuvo el efecto multiplicador, 1,92 y los nuevos empleos generados, que se estimaron en 9583,7 a lo largo de la vida útil de la planta.

#### **6.4 PERFILES DE SOSTENIBILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS ANALIZADAS UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE ACV-IO DESARROLLADA**

La herramienta desarrollada en esta tesis permite el análisis no solo de aspectos medioambientales sino también de aspectos relacionados con las características económicas y sociales de las tecnologías analizadas. Ello permite un análisis más profundo desde el punto de vista de la sostenibilidad que, como se vio anteriormente, tiene en su definición estos componentes medioambientales, económicos y sociales.

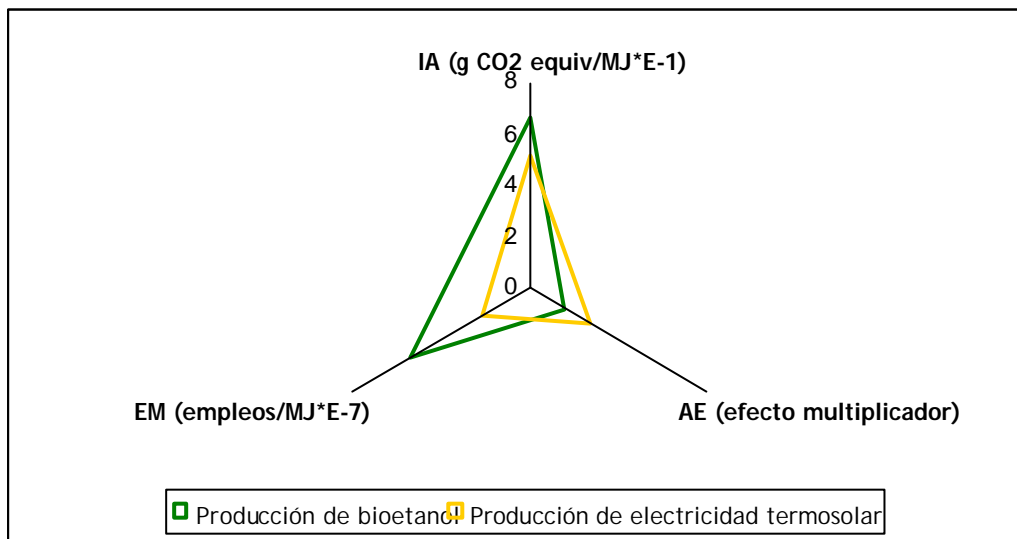
De esta forma, y usando los resultados de la herramienta de ACV-IO, se podría construir un indicador de sostenibilidad que analizara de forma conjunta los tres componentes de la misma y sirviera para comparar tecnologías diferentes que proporcionan un mismo servicio energético o de otro tipo.

A modo de ejemplo, y como punto de partida de una de las líneas de investigación futuras, se ha construido un gráfico representativo del perfil de sostenibilidad de las dos tecnologías analizadas. Hay que señalar que la comparación de estas dos tecnologías entraña problemas debido a que ambas proporcionan servicios energéticos diferentes. Sin embargo, se incluye aquí esta comparación para ilustrar el potencial de la herramienta desarrollada.

El perfil de sostenibilidad se ha construido utilizando los resultados de la herramienta ACV-IO relativos a:

- emisiones de gases de efecto invernadero (g CO<sub>2</sub> eq/MJ)
- efecto multiplicador
- generación de empleo (empleos generados/MJ)

Estos perfiles se muestran en la Figura 56.



**Figura 56: Perfil de sostenibilidad de las tecnologías analizadas**

Como se observa en la Figura 56, la producción de etanol tiene un perfil de sostenibilidad acentuado en su componente social, ya que es mucho más intensivo en generación de mano de obra, mientras que la generación de electricidad termosolar acentúa la componente económica al tener un efecto multiplicador en la economía mucho más importante.

Comparaciones de este tipo pueden ser muy útiles a la hora de evaluar distintas tecnologías de generación eléctrica o bien distintos combustibles para el transporte.





## 7 CONCLUSIONES

En la presente tesis doctoral se ha desarrollado una herramienta integrada ACV-IO en la que se ha tenido en cuenta el contexto socioeconómico y medioambiental de España. Esta herramienta analiza y evalúa los aspectos medioambientales y socioeconómicos asociados a un bien o servicio a lo largo de su ciclo de vida, desde la adquisición de las materias primas hasta la producción del mismo.

Esta herramienta de análisis ambiental se ha aplicado a dos tecnologías energéticas emergentes comparando los resultados obtenidos con los calculados aplicando la metodología de ACV.

De la aplicación de ambas herramientas a la producción de bioetanol a partir de cebada en España se ha podido concluir que:

- ✓ El balance energético es positivo para ambas metodologías empleadas. La producción de 1 MJ de bioetanol requiere 0,64 MJ según el ACV y 0,95 MJ según el ACV –IO.
- ✓ Las emisiones de gases de efecto invernadero estimadas para la producción de 1 MJ de bioetanol a lo largo del ciclo de vida se han estimado en 47,92 g y 66,93 g de CO<sub>2</sub> equivalentes con el ACV y el ACV –IO respectivamente.
- ✓ Asimismo se han estimado las emisiones de otros contaminantes: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM.
- ✓ El efecto multiplicador de la producción de bioetanol a partir de cebada en España se estimó en 1,59, lo que significa que un incremento de 1 € en la demanda de bioetanol, produce incrementos en la demanda del resto de bienes y servicios nacionales por valor de 1,59 €
- ✓ A lo largo de la vida útil de la planta se generarán 22588 nuevos empleos.

- ✓ Para minimizar los impactos medioambientales estimados en la producción de bioetanol en España se recomienda reducir al máximo el uso de agroquímicos y las labores agrícolas, en base a los resultados del ACV, y optimizar los procesos de Producción y distribución de energía eléctrica y gas así como de la Extracción de combustibles fósiles, según los resultados del ACV –IO.

De la aplicación de ambas herramientas a la producción de electricidad en una planta termosolar en España se ha podido concluir que:

- ✓ El balance energético para el caso de estudio analizado es positivo. Se requieren 2,93 MJ según el ACV y 3,42 MJ según el ACV –IO para la producción de 1 kWh de electricidad.
- ✓ A lo largo del ciclo de vida de la producción de 1 kWh de electricidad en la planta termosolar se emiten 186,21 g según el ACV y 187,73 g según el ACV – IO de CO<sub>2</sub> equivalente.
- ✓ Se han estimado además las emisiones de otros contaminantes: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO y COVNM.
- ✓ Asimismo, se ha calculado el efecto multiplicador para la producción de electricidad en la planta termosolar, resultando un valor de 2,75. El incremento en 1 € de la demanda de electricidad termosolar genera un incremento en el resto de demandas de bienes y servicios nacionales igual a 2,75 €
- ✓ La creación de nuevos empleos como consecuencia de la producción de electricidad en la planta durante los años de vida útil de la misma se han estimado en 3485.
- ✓ En base a los resultados de los impactos medioambientales estimados por el ACV se recomienda minimizar el consumo de gas y electricidad durante la etapa de operación y mantenimiento de la planta, y optimizar los procesos de

Producción y distribución de energía eléctrica y gas así como de la Extracción de combustibles fósiles en base al ACV –IO.

De la comparación de resultados podemos concluir que:

- ✓ Tal y como se esperaba, y debido a que el ACV-IO evita la necesidad de definir los límites de los sistemas analizados, los impactos obtenidos con esta herramienta son en general superiores a los obtenidos con la herramienta de ACV.
- ✓ Existen algunas excepciones a este resultado general fundamentalmente relacionadas con las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>.
- ✓ La causa identificada de estas diferencias es en muchos casos el grado de agregación de algunos sectores económicos en la herramienta desarrollada.
- ✓ Especialmente importante, en los casos analizados en esta tesis, es la agregación de los sectores *Agricultura, ganadería y caza*, *Industria química* y *Producción y distribución de energía eléctrica*, sectores que agrupan actividades de muy diverso perfil ambiental.
- ✓ En los casos en los que, como en la producción de bioetanol, existen co-productos con un uso fuera del sistema, el hecho de que los impactos atribuibles a los co-productos sean también mayores al usar la herramienta ACV-IO (al evitarse la definición de límites del sistema) puede revertir las diferencias de resultados del producto principal entre ambas metodologías.
- ✓ Asimismo, pueden existir discrepancias atribuibles a la forma de considerar la asignación entre el producto principal y los co-productos.
- ✓ En algunos casos pueden existir diferencias atribuibles a errores o discrepancias de criterio entre los inventarios nacionales de emisiones y los datos existentes sobre emisiones en las bases de datos del ACV de procesos.

- ✓ La herramienta desarrollada, ACV-IO para España, contiene información ambiental relativa a solo un número limitado de contaminantes para los que existen inventarios a nivel nacional. En este sentido la herramienta de ACV permite un análisis ambiental mucho más completo al incluir emisiones de muchos más contaminantes.
- ✓ La herramienta de ACV-IO permite sin embargo la inclusión de impactos de tipo económico y social, como generación de actividad económica y generación de empleo, que permiten hacer un análisis más completo desde el punto de vista de la sostenibilidad en su sentido más amplio.

## 8 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las futuras líneas de investigación que se proponen son las siguientes:

- ✓ desagregar los datos, tanto económicos como medioambientales, para ramas de actividad relevantes como la *Agricultura, ganadería y caza*, la *Industria química* y la *Producción y distribución de energía eléctrica*, de modo que se puedan mejorar las estimaciones de impactos para los bienes y servicios de éstas y se alcance el nivel de detalle requerido en muchos estudios.
- ✓ incluir otros aspectos medioambientales y socioeconómicos relevantes como otras emisiones atmosféricas, consumo de agua, generación de empleo en función del género,
- ✓ identificar los factores que pueden influir en los resultados de los casos de estudio y realizar varios análisis de sensibilidad.
- ✓ añadir datos medioambientales de procesos específicos obtenidos a través del ACV en los vectores ambientales de la rama a la que correspondan en la herramienta ACV –IO con el fin de mejorar las estimaciones de ésta.
- ✓ aplicar el ACV –IO para España a otras tecnologías energéticas avanzadas.
- ✓ combinar la herramienta desarrollada en esta tesis doctoral con otras herramientas de planificación energética como es, por ejemplo, The Integrated Market-Efom System (TIMES). Dicha integración contribuiría a la toma de decisiones en materia de planificación energética, permitiendo estimar los impactos medioambientales y socioeconómicos de la solución óptima para distintos escenarios considerados.
- ✓ introducir en la herramienta un vector que pueda valoración las externalidades asociadas a los impactos estimadas por el ACV –IO.

- ✓ finalmente, se pretende poner a disposición de cualquier usuario la herramienta ACV –IO a través de una plataforma informática, de modo que se pueda analizar cualquier proyecto de una manera rápida y sencilla.

## 9 REFERENCIAS

- ADEME, DIREM, Ecobilan, and PriceWaterhouseCoopers, 2002, Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants. Rapport technique.
- AENOR, 2006, Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia (ISO 14040:2006), *in* C. T. A. C. G. Medioambiental, ed.
- Bailey, R., J. K. Allen, and B. Bras, 2004, Applying ecological input-output flow analysis to material flows in industrial systems - Part I: Tracing flows: *Journal of Industrial Ecology*, v. 8, p. 45-68.
- Baral, A., and B. R. Bakshi, 2006, Comparative study of biofuels vs petroleum fuels using input-output hybrid life-cycle assessment, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, The Ohio State University, Columbus.
- Barnthouse, L., J. Fava, K. Humphreys, R. Hunt, L. Laibson, S. Noesen, G. Norris, J. Owens, J. Todd, B. Vigon, K. Weitz, and J. Young, 1998, Life-cycle Impact assessment: The State-of-the-Art. : Report of the Work Group on LCA Impact assessment, SETAC, Pensacola.
- Bouman, M., R. Heijungs, E. Van Der Voet, J. C. J. M. Van Den Bergh, and G. Huppes, 2000, Material flows and economic models: An analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models: *Ecological Economics*, v. 32, p. 195-216.
- Brundtland, G., 1987, *Our common future* The World Commission on Environment and Development, Oxford University Press.
- Bullard Iii, C. W., and R. A. Herendeen, 1975, The energy cost of goods and services: *Energy Policy*, v. 3, p. 268-278.
- Caldés, N., M. Varela, M. Santamaria, and R. M. Sáez, 2009, Economic impact of solar thermal electricity deployment in Spain: *Energy Policy*, v. 37, p. 1628-1636.

- Carnegie Mellon University Green Design Institute 2008, Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA), US 1997 Industry Benchmark model.
- CER, and EIOM, 2008, Rail Charging and Accounting Schemes in Europe Case studies from six countries, Community of European Railway and Infrastructure Companies European Rail Infrastructure Managers.
- Clift, R., R. Frischknecht, G. Huppes, A. M. Tillman, and B. Weidema, 1998, Towards a coherent approach to life cycle inventory analysis: Draft Report by the SETAC-Europe Working Group on Life Cycle Inventory Analysis.
- COAATGU, 2007, Precio de la Construcción Centro 2007. Guadalajara: Guadalajara, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara. Gabinete Técnico de Publicaciones. .
- Construmática, 2007, Precios y Pliegos de Condiciones Técnicas del Banco BEDEC, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.
- Cooper, J. S., 2003, Specifying Functional Units and Reference Flows for Comparable Alternatives: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 8, p. 337-349.
- CORES, 2001, Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Resumen Año 2000, Ministerio de Industria, turismo y comercio. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos.
- CORES, 2006, Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Numero 104, Ministerio de Industria, turismo y comercio. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos.
- Coulon, R., V. Camobreco, H. Teulon, and J. Besnainou, 1997, Data quality and uncertainty in LCI: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 2, p. 178-182.



- Curran, M., 2006, Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory. Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. Ohio.
- Curran, M. A., 2007, Co-Product and Input Allocation Approaches for Creating Life Cycle Inventory Data: A Literature Review: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 8, p. 337-349.
- Christiansen, K. e., 1997, Simplifying LCA: Just a Cut? Final Report of the SETAC-Europe LCA Screening and Streamlining Working Group: Published by SETAC-Europe, Brussels.
- del Castillo Cuervo-Arango, F., 1989, La Evolución del Análisis Input-Output Regional y la Experiencia Española, Euskal Estatistika-Erakundea Instituto Vasco de Estadística, p. 105-39.
- Deurwaarder, E. P., S. M. Lensink, and H. M. Londo, 2007, BioTrans biofuels data. Appendix to "Use of BioTrans in Refuel"; functional and technical description, Energy Research Centre of the Netherlands
- Dreyer, L. C., M. Z. Hauschild, and J. Schierbeck, 2006, A framework for social life cycle impact assessment: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 11, p. 88-97.
- Ecoinvent, 2007, <http://www.ecoinvent.ch>
- Edwards, R., Larivé, J.F., Mahieu, V., Rouveïrolles, P. 2007, Well - to- wheels analysis of future automotive fuels and power trains in the European context. Well - to- wheels Report version 2c: CONCAWE, EUCAR, JRC.
- EIONET, 2008, Spain GHG Inventories 1990-2006, EIONET.
- Ekvall, T., and A. M. Tillman, 1997, Open-loop recycling: Criteria for allocation procedures: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 2, p. 155-162.

- Ekvall, T., and B. P. Weidema, 2004, System boundaries and input data in consequential life cycle inventory analysis: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 9, p. 161-171.
- Elsayed, M. A., R. Matthews, and N. D. Mortimer, 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 Univeristy.
- Fava, J., R. Denison, B. Jones, M. Curran, B. Vigon, S. Selke, and B. J., 1991, SETAC Workshop Report: A Technical Framework for Life-Cycle Assessment. August 18-23, 1990, Smugglers Notch, Vermont. SECTAC, Washington, DC: .
- Fava, J., and S. Pomper, 1997, Life-cycle critical review! Does it work?: Implementing a critical review process as a key element of the aluminum beverage container LCA: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 2, p. 145-153.
- Ferrer, G., and R. U. Ayres, 2000, The impact of remanufacturing in the economy: *Ecological Economics*, v. 32, p. 413-429.
- Frankling, W., and R. Hunt, 1972, Environmental impacts of polystyrene foam and molded pulp meat trays: a summary. : Report prepared for Mobil chemical Co., MRI Project No. 3554-D. Midwest Research Institue, Kansas City, MO.
- Frischknecht, R., H. J. Althaus, C. Bauer, G. Doka, T. Heck, N. Jungbluth, D. Kellenberger, and T. Nemecek, 2007, The Environmental Relevance of Capital Goods in Life Cycle Assessments of Products and Service.: *International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Goedkoop, M., and R. Spriensma, 2001, the Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report: Amersfoort, Pré Consultants.
- Goldsmith, E., and R. Allen, 1972, A blueprint for survival: *The Economist*, v. 2.

- Gover, M., S. Collings, G. Hitchcock, D. Moon, and G. Wilkins, 1996, *Alternative Road Transport Fuels - A preliminary life-cycle study for the UK.*, Harwell.
- Guinée, J., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener, S. Suh, and H. Udo de Haes, 2002, *Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO standards, v. 7: Dordrecht. Netherland, Kluwer Academic Publishers, 255 p.*
- Hauschild, M., and J. Potting, 2003, *Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology.* , Institute for Product Development. Technical University of Denmark.
- Heijungs, R., J. Guinée, G. Huppes, R. Lankreijer, H. Udo de Haes, A. Wegener, A. Ansems, P. Eggels, R. van Duin, and H. de Goede, 1992, *Environmental life cycle assessment of products. Guide (Part 1) and Backgrounds (Part 2).* : CML, TNO and B&G. Leiden. .
- Heintz, B., and P. Baisnée, 1992, *System boundaries. SETAC-Europe: life-cycle assessment. Brussels, Bergium: Report from a workshop in Leiden, p. 35-52.*
- Hendrickson, C., A. Horvath, S. Joshi, and L. Lave, 1998, *Economic input-output models for environmental life-cycle assessment: Environmental Science and Technology, v. 32.*
- Hendrickson, C. T., A. Horvath, S. Joshi, M. Klausner, L. B. Lave, and F. C. McMichael, 1997, *Comparing two life cycle assessment approaches: a process model- vs. economic input-output-based assessment: IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, p. 176-181.*
- Hendrickson, C. T., L. B. Lave, and H. S. Matthews, 2006, *Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approach: Washington, DC, Resources for the Future.*

- Hischier, R., and I. Reichart, 2003, Multifunctional electronic media - Traditional media: The problem of an adequate functional unit. A case study of a printed newspaper, an internet newspaper and a TV broadcast: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 8, p. 201-208.
- Holland, D., and S. C. Cooke, 1992, Sources of structural change in the Washington economy- An input-output perspective: *The Annals of Regional Science*. Springer Berlin/Heidelberg.
- Hunt, R., and W. Franklin, 1996, LCA- How it came about. Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 1, p. 4-7.
- Huppes, G., and F. e. Schneider, 1994, Proceedings of the European Workshop on Allocation in LCA at the Centre of Environmental Science (CML) of Leiden University. Ledien 24th and 25th of February 1994.
- INE, 1993, Clasificación Nacional de Actividades Económicas 1993. Revisión 1, Instituto Nacional de Estadística.
- INE, 2008, Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua 2006, Instituto Nacional de Estadística.
- ITEC, 2007, Base de datos del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.
- Jolliet, O., M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer, and R. Rosenbaum, 2003, IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 8, p. 324-330.
- Klöppfer, W., 2006, The role of SETAC in the development of LCA: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 11, p. 116-122.
- Larsson, J., 2006, A case study of bioethanol production from cereals in Sweden- A cost benefit approach: MSc Thesis thesis, Cranfield University, Silsoe.

- Lave, L. B., E. C. Flores, C. T. Hendrickson, and F. C. McMichael, 1995, Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges: *Environmental Science & Technology*.
- Lechón, Y., H. Cabal, C. de la Rúa, C. Lago, L. Izquierdo, R. M. Sáez, and M. Fernández, 2006, *Análisis del ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase II. Análisis del Ciclo de Vida Comparativo del Biodiésel y del Diésel*. Energía y Cambio Climático, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente. Ministerio de Educación y Ciencia. CIEMAT.
- Lechón, Y., H. Cabal, C. Lago, C. de la Rúa, R. M. Sáez, and M. Fernández, 2005, *Análisis del ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis del Ciclo de Vida Comparativo del Etanol de Cereales y de la Gasolina*. Energía y Cambio Climático, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente. Ministerio de Educación y Ciencia. CIEMAT.
- Leontief, W., 1936, Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States: *Review of Economics and Statistics* v. 3.
- Leontief, W., 1941, *The Structure of American Economy: 1919-1929*: New York, Oxford University Press.
- Leontief, W., 1953, Domestic Production and Foreign Trade: The American Capital Position Re-Examined": *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 97(4), p. 332-49.
- Leontief, W., 1970, Environmental repercussions and the Economic Structure: an input-output approach: *Review of Economics and Statistics*, v. LII-3, p. 262-271.
- LOWCVP Low Carbon Vehicle Partnership. 2004. Well-to-wheel evaluation for production of ethanol from wheat. A report by the Low CVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group. FWG-P-04-024

- MAPA, 2008, Evolución de los precios de los principales cereales, Subdirección General de Estadística Agroalimentaria del Ministerio de Administraciones Públicas.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens, 1972, Limits of Growth, v. III: Washington, DC, Potomac Associates.
- Miller, R. E., and P. D. Blair, 1985, Input-Output Analysis: Foundations and Extensions: New Jersey, Prentice-Hall.
- MºFomento, 2008, ACOTRAM Asistente para el Cálculo de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera, Ministerio de Fomento.
- Moriguchi, Y., Y. Hondo, and H. Shimizu, 1993, Analyzing the life cycle impact of cars: The case of CO<sub>2</sub>. : Industry and the Environment, v. 6.
- Mourad, A. L., L. Coltro, P. A. P. L. V. Oliveira, R. M. Kletecke, and J. P. O. A. Baddini, 2007, A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 12, p. 408-413.
- Muñoz, C., 1993, Introducción a la economía aplicada. Cuentas nacionales, tablas input-output y balanza de pagos: Madrid.
- Muñoz, I., X. Domenech, and S. Malato, 2006, Life cycle assessment as a tool for green chemistry: Application to different advanced oxidation processes for wastewater treatment: Coleccion documentos Ciemta.
- Nakamura, S., and Y. Kondo, 2002, Input-output analysis of waste management: Journal of Industrial Ecology, v. 6(1), p. 39-64.
- Nemecek, T., and T. Kägi, 2007, Life Cycle Inventories of Agricultura Production Systems. Data v2.0, Zürich and Dübendorf, Ecoinvent Centre. ETH and Swiss Federal Offices.

- OMEL, 2007, OMEL y el Mercado de la electricidad 2006, Madrid, OMEL Operador del Mercado Eléctrico Español.
- Pehnt, M., 2005, Dynamic Life Cycle Assessment (LCA) of Renewable Energy technologies": Renewable Energy.
- Reap, J., F. Roman, S. Duncan, and B. Bras, 2008, A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: Goal and scope and inventory analysis: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 13, p. 290-300.
- Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. P. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema, and D. W. Pennington, 2004, Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications: Environment International, v. 30, p. 701-720.
- Rebitzer, G., and D. Hunkeler, 2003, Life cycle costing in LCM: Ambitions, opportunities, and limitations - Discussing a framework: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 8, p. 253-256.
- Schmidt, J. H., 2008, System delimitation in agricultural consequential LCA: Outline of methodology and illustrative case study of wheat in Denmark: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 13, p. 350-364.
- Secretariat, U. N., 2007, Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. , New York, United Nations.
- SETAC, 1990, Life Cycle Analysis for Packaging Environmental Assessment. : Proceedings of the Specialised Workshop, Leuven, Belgium.
- SETAC, 1993, SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice. Brussels, Belgium.

- Sheehan, J., V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski, and H. Shapouri, 1998, Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum diesel for Use in an Urban Bus, Golden, Colorado, NREL.
- Shortsea, 2007, Simulador de Costes del Transporte Marítimo de Corta Distancia, Asociación Española de Promoción del Transporte Marítimo de Corta Distancia.
- Steen, B., 1999, A systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). 2000-General System Characteristics & 2000 -Models and Data, Chalmers, Chalmers University.
- Suh, S., 2004, Functions, commodities and environmental impacts in an ecological-economic model: *Ecological Economics*, v. 48, p. 451-467.
- Suh, S., and G. Huppes, 2004, Methods for life cycle inventory of a product: *Journal of Cleaner Production*, v. 13, p. 687-697.
- Suh, S., M. Lenzen, G J. Treloar, H. Hondo, A. Horvath, G. Huppes, O. Jolliet, U. Klann, W. Krewitt, Y. Moriguchi, J. Munksgaard, and G. Norris, 2004, System Boundary Selection in Life-Cycle Inventories Using Hybrid Approaches: *Environmental Science and Technology*, v. 38, p. 657-664.
- Suh, S., and S. Nakamura, 2007, Five years in the area of input-output and hybrid LCA: *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 12, p. 351-352.
- Ten Raa, T., 2005, *The Economics of Input-Output Analysis*: Cambridge, Cambridge University Press.
- Tillman, A. M., 2000, Significance of decision-making for LCA methodology: *Environmental Impact Assessment Review*, v. 20, p. 113-123.
- Tillman, A. M., H. Baumann, E. Eriksson, and T. Rydberg, 1991, Life cycle analysis of packaging materials. Calculation of environmental load: Chalmers Indústiteknik. Göteborg.



- Udo de Haes, H., 1996, Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment. :  
Published by SETAC-Europe, Brussels.
- United Nations, 1992, Conference on Environment and Development (UNCED) Rio de Janeiro, 3-14 June.
- Urbanchuk, J. M., 2006, Contribution of the ethanol industry to the economy of the United States, LECG LLC.
- Viebahn, P., 2004, INDIPET, integration of DSG Technology for Electricity Production, WP 4.3, Impact Assessment, Life cycle Assessment of Construction Materials, Energy Demand and emissions of DSG. final Report.
- Viebahn, P., 2006, NEEDS Project Stream 1a. Progress Report Including Screening LCA and Screening cost Assessment for current Solar Thermal Power Plant Technologies. Internal Technical Paper. No. 12.2, DLR, CIEMAT.
- Weber, F.-A., W. Jenseit, and U. R. Fritsche, 1999, Bestimmung des Kumulierten Energieaufwands (KES) durch Input-Output- und Prozessketten-Analyse am Beispiel des Sektors Nichtmetalle. , Darmstadt, Germany, Institut für angewandte Ökologie.
- Weidema, B., 2001, Avoiding co-product allocation in life-cycle assessment: Journal of Industrial Ecology, v. 4, p. 11-33.
- Weidema, B. P., 2003, Market Information in LCA, Environmental Project no. 863. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark.
- Weidema, B. P., N. Frees, and A. M. Nielsen, 1999, Marginal production technologies for life cycle inventories: International Journal of Life Cycle Assessment, v. 4, p. 48-56.
- Weinrebe, G., M. Böhnke, and F. Trieb, 1998, Life Cycle Assessment of an 80 MW SEGs Plant and a 30 MW Phoebus Poer Tower.: Solar Engineering ASME.



## **ANEXO**

**Tabla 63: Datos consumos energéticos año 2000 para España. Eurostat**

SUPPLY, TRANSFORMATION, CONSUMPTION - ALL PRODUCTS; ANNUAL DATA		
CODE	SPAIN, 2000	2000, TJ
100100	Primary production	1305384
100200	From other sources	6534
100300	Total imports	4520687
100400	Stock change	-45242
100500	Total exports	361778
100600	Net imports	4158908
100800	Bunkers	248514
100900	Gross inland consumption	5177070
101000	Transformation input	4455692
101001	Input to conventional thermal power stations	1107955
101002	Input to nuclear power stations	671825
101003	Input to patent fuel and briquetting plants	0
101004	Input to coke-oven plants	100985
101006	Input to blast-furnace plants	19209
101007	Input to gas-works	6698
101008	Input to refineries	2549020
101009	Input to district heating plants	0
101021	Input to public thermal power stations	980858
101022	Input to autoproducer thermal power stations	150774
101100	Transformation output	3318173
101101	Output from conventional thermal power stations	458134
101102	Output from nuclear power stations	223942
101103	Output from patent fuel and briquetting plants	0
101104	Output from coke-oven plants	88273
101106	Output from blast-furnace plants	19215
101107	Output from gas-works	3585
101108	Output from Refineries	2525025
101109	Output from district heating plants	-
101121	Output from public thermal power stations	353945
101122	Output from autoproducer thermal power stations	101088
101200	Exchanges, transfers, returns	6930
101210	Interproduct transfers	1819
101220	Products transferred	5255

SUPPLY, TRANSFORMATION, CONSUMPTION - ALL PRODUCTS; ANNUAL DATA		
101230	Returns from petrochemical industry	-144
101300	Consumption - Energy sector	256175
101301	Consumption - Electricity generation sector	35755
101302	Pumped storage plants balance	9252
101303	Consumption - Mines and patent fuel/briquetting plants	7265
101304	Consumption - Coke-oven and gas-works plants	11204
101305	Consumption - Oil and gas extraction	47
101306	Consumption - Oil and gas pipelines	-
101307	Consumption - Refineries	187752
101308	Consumption - Nuclear in dustry	90
101400	Distribution losses	81770
101500	Energy available for final consumption	3708535
101600	Final non-energy consumption	396361
101601	Final non-energy consumption - Chemical industry	259947
101602	Final non-energy consumption - Non-chemical industries	136414
101700	Final energy consumption	3333979
101800	Final energy consumption - Industry	1068785
101805	Final energy consumption - Iron and steel industry	166831
101810	Final energy consumption - Non-ferrous metal industry	48748
101815	Final energy consumption - Chemical industry	157889
101820	Final energy consumption - Non-metallic mineral products industry	263480
101825	Final energy consumption - Ore extraction (except fuels) industry	14689
101830	Final energy consumption - Food, drink and tobacco industry	107410
101835	Final energy consumption - Textile, leather and clothing industry	50754
101840	Final energy consumption - Paper and printing industry	87628
101845	Final energy consumption - Engineering and other metal industry	82177
101850	Final energy consumption - Other non-classified industries	89180
101899	Final energy consumption - Adjustment	-1
101900	Final energy consumption - Transport	1380676
101910	Final energy consumption - Rail transport	35605
101920	Final energy consumption - Road transport	1098767
101930	Final energy consumption - Air transport	188264
101940	Final energy consumption - Inland navigation	58040
102000	Final energy consumption - Households/Services	884517
102010	Final energy consumption - Households	497634

SUPPLY, TRANSFORMATION, CONSUMPTION - ALL PRODUCTS; ANNUAL DATA		
102020	Final energy consumption - Fisheries	0
102030	Final energy consumption - Agriculture	106319
102035	Final energy consumption - Services	279721
102040	Final energy consumption - Other Sectors	844
102200	Statistical difference	-21805
106118	Net transformation output- Refineries	2520801
107510	Fuel consumption - Power stations for heat production	
107520	Fuel consumption for electricity generation	

**Tabla 64: Correspondencia de sectores en Eurostat con la contabilidad nacional de España**

EUROSTAT	COD.NACE	NACE	COD.CNAE	CNAE
Industria química	24	Fabricación de químicos y productos químicos	24	Industria química
Industria del hierro y el acero	27.1	Fabricación de hierro y acero y aleaciones de hierro.	27	Metalurgia
	27.2	Fabricación de tuberías		
	27.3	Otros procesos primarios de hierro y acero		
	27.51	Fundición de hierro		
	27.52	Fundición de acero		
Industria de metales no ferrosos	27.4	Fabricación de metales preciosos y metales no ferrosos	27	Metalurgia
	27.53	Fundición de metales ligeros		
	27.54	Fundición de otros metales no ferrosos		
Industria de otros productos minerales no metálicos	26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	265	Fabricación de cemento, cal y yeso
			261	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
			262-264	Industrias de la cerámica
			266-268	Fabricación de otros productos minerales
Industria de la alimentación, bebida y tabaco.	15	Fabricación de productos alimenticios y bebidas	151	Industrias cárnicas
			155	Industrias lácteas
			152-154,156-158	Otras industrias alimenticias
			159	Elaboración de bebidas
	16	Fabricación de productos de tabaco	16	Industria del tabaco
Industria textil del cuero y confección.	17	Fabricación de textiles	17	Industria textil
	18	Fabricación de prendas de confección y peletería	18	Industria de la confección y la peletería

	19	Proceso de teñido para cuero, fabricación de maletas, bolsos, calzado	19	Industria del cuero y del calzado
Industria del papel y de la imprenta	21	Fabricación de pulpa de papel y de productos de papel	21	Industria del papel
	22	Edición, imprenta y reproducción de grabados	22	Edición y artes gráficas
Industria de la ingeniería y otros metales	28	Fabricación de productos de metal, excepto maquinaria y equipos	28	Fabricación de productos metálicos
	29	Fabricación de maquinaria y equipos	29	Maquinaria y equipo mecánico
	30	Fabricación de máquinas de oficina y ordenadores	30	Máquinas de oficina y equipos informáticos
	31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos	31	Fabricación de maquinaria y material eléctrico
	32	Fabricación de radio, televisión y equipos y aparatos de comunicación	32	Fabricación de material electrónico
	34	Fabricación de vehículos de motor, remolques y semi-remolques	34	Fabricación de vehículos de motor y remolques
	35	Fabricación otros equipos de transporte	35	Fabricación de otro material de transporte
Otras industrias no clasificadas	20	Fabricación de madera y productos de la madera y corcho excepto muebles; fabricación de artículos de paja	20	Industria de la madera y el corcho
	25	Fabricación de caucho y materias plásticas	25	Industria del caucho y materias plásticas
	33	Fabricación de instrumental médico, de precisión y óptico, relojes	33	Instrumentos medico-quirúrgicos y de precisión
	36	Fabricación de muebles	36	Muebles y otras industrias



				manufactureras
	37	Reciclaje	37	Reciclaje
	45	Construcción	45	Construcción
Industrias extractivas	13	Extracción de minerales metálicos	13	Extracción de minerales metálicos
	14	Otras explotaciones mineras y canteras, excepto combustibles	14	Extracción de minerales no metálicos
Servicios		Servicios de la administración pública y servicios privados.	50	Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción
			51	Comercio al por mayor e intermediarios
			52	Comercio al por menor; reparación de efectos personales
			55.1 55.2	Alojamiento
			55.3-55.5	Restauración
			63.1 63.2 63.4	Actividades anexas a los transportes
			63.3	Actividades de agencias de viajes
			64	Correos y telecomunicaciones
			65	Intermediación financiera
			66	Seguros y planes de pensiones
			67	Actividades auxiliares
			70	Actividades inmobiliarias. Alquiler imputado
			71	Alquiler de maquinaria y enseres domésticos
			72	Actividades informáticas
			73	Investigación y desarrollo
			74	Otras actividades empresariales
	80 (p)	Educación de mercado		
	85 (p)	Sanidad y servicios sociales de mercado		

			90 (p)	Saneamiento público de mercado
			91 (p)	Actividades asociativas de mercado
			92 (p)	Actividades recreativas, culturales y deportivas
			93	Actividades diversas de servicios personales
			75	Administración pública
			80 (p)	Educación de no mercado
			85 (p)	Sanidad y servicios sociales de no mercado
			90 (p)	Saneamiento público de no mercado de las AAPP
			91 (p)	Actividades recreativas y culturales de no mercado
			92 (p)	Actividades asociativas de no mercado de las ISFLSH

**Tabla 65: Inventario Nacional de Emisiones del año 2000**

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK  CATEGORIES		Net CO2  emissions/ removals  (Gg)	CH4	N2O	HFCs		PFCs		SF6		NOx	CO	NMVOC	SO2
					P	A	P	A	P	A				
					CO2 equivalent (Gg)									
<b>Total National Emissions and Removals</b>		<b>275.725,57</b>	<b>1.712,59</b>	<b>105,37</b>	<b>C,NA,NE</b>	<b>8.170,02</b>	<b>NA,NE</b>	<b>411,71</b>	<b>NA,NE</b>	<b>0,01</b>	<b>1.444,51</b>	<b>2.997,87</b>	<b>1.088,11</b>	<b>1.457,50</b>
<b>1. Energy</b>		<b>282.973,34</b>	<b>146,24</b>	<b>11,10</b>							<b>1.421,53</b>	<b>2.230,12</b>	<b>463,46</b>	<b>1.439,68</b>
A. Fuel Combustion	Reference Approach	283.451,65												
	Sectoral Approach	280.755,45	49,51	11,10							1.416,57	2.226,98	392,69	1.384,31
1. Energy Industries		105.023,97	3,33	2,03							342,74	21,51	8,91	1.090,80
2. Manufacturing Industries and Construction		57.879,23	5,34	1,66							267,54	204,89	25,22	192,78
3. Transport		84.787,92	10,38	6,38							634,59	1.475,98	300,74	46,46
4. Other Sectors		33.064,33	30,46	1,03							171,70	524,60	57,83	54,27
5. Other		NO	NO	NO							NO	NO	NO	NO
B. Fugitive Emissions from Fuels		2.217,89	96,73	0,00							4,96	3,14	70,77	55,38
1. Solid Fuels		15,27	59,41	NA,NE							0,07	2,21	0,43	0,03
2. Oil and Natural Gas		2.202,62	37,32	0,00							4,89	0,93	70,33	55,34
<b>2. Industrial Processes</b>		<b>23.495,53</b>	<b>3,33</b>	<b>7,52</b>	<b>C,NA,NE</b>	<b>8.170,02</b>	<b>NA,NE</b>	<b>411,71</b>	<b>NA,NE</b>	<b>0,01</b>	<b>11,44</b>	<b>361,48</b>	<b>61,38</b>	<b>13,19</b>
A. Mineral Products		19.405,00	IE,NE,NO	IE,NE,NO							IE,NE,NO	0,00	0,01	IE,NE,NO
B. Chemical Industry		737,71	2,56	7,5193	NE	NE	NE	NE	NE	NE	5,75	7,59	15,92	6,75
C. Metal Production		3.352,81	0,77	0,00				370,28		NA,NE	3,68	353,88	2,12	5,97
D. Other Production		NA									2,00	0,00	43,33	0,47

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK  CATEGORIES	Net CO2	CH4	N2O	HFCs		PFCs		SF6		NOx	CO	NMVOC	SO2
	emissions/ removals			P	A	P	A	P	A				
	(Gg)	CO2 equivalent (Gg)			(Gg)								
E. Production of Halocarbons and SF6					6,394,51		NA,NO		NA,NO				
F. Consumption of Halocarbons and SF6				C,NE	1,775,51	NE	41,43	NE	0,01				
G. Other	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>3. Solvent and Other Product Use</b>	<b>1,233,95</b>		<b>1,42</b>							<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>488,93</b>	<b>NO</b>
<b>4. Agriculture</b>	<b>0,00</b>	<b>1,068,75</b>	<b>81,67</b>							11,18	402,97	56,52	4,31
A. Enteric Fermentation		636,30											
B. Manure Management		399,22	9,12									NE	
C. Rice Cultivation		14,04										NA	
D. Agricultural Soils	0,00	NE	72,24									NA	
E. Prescribed Burning of Savannas		NO	NO							NO	NO	NO	
F. Field Burning of Agricultural Residues		19,19	0,31							11,18	402,97	56,52	
G. Other		NA	NA							NA	NA	NA	NA
<b>5. Land-Use, Land-Use Change and Forestry</b>	<b>-32,016,90</b>	<b>7,58</b>	<b>0,05</b>							<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
A. Forest Land	-32016,90	7,58	0,05							0,00	0,00	0,00	
B. Cropland	NA,NE,NO	NA	NA							0,00	0,00	0,00	
C. Grassland	NE,NO	0,00	0,00							0,00	0,00	0,00	
D. Wetlands	NE,NO	0,00	0,00							0,00	0,00	0,00	
E. Settlements	NE,NO	0,00	0,00							0,00	0,00	0,00	

GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK  CATEGORIES	Net CO2	CH4	N2O	HFCs		PFCs		SF6		NOx	CO	NMVOC	SO2
	emissions/ removals			P	A	P	A	P	A				
	(Gg)	CO2 equivalent (Gg)						(Gg)					
F. Other Land	NO	0,00	0,00							0,00	0,00	0,00	
G. Other	IE	NA	NA							NA	NA	NA	NA
<b>6. Waste</b>	<b>39,65</b>	<b>486,69</b>	<b>3,60</b>							<b>0,36</b>	<b>3,31</b>	<b>17,83</b>	<b>0,32</b>
A. Solid Waste Disposal on Land	26,55	376,19								0,11	2,13	0,65	
B. Wastewater Handling		85,72	3,56							NE	NE	NE	
C. Waste Incineration	13,10	0,03	0,03							0,25	1,18	0,10	0,22
D. Other	NE	24,75	NE							NE	NE	17,07	NE
<b>7. Other</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>
<b>Memo Items:</b>													
<b>International Bunkers</b>	<b>27.338,38</b>	<b>1,09</b>	<b>0,76</b>							<b>473,76</b>	<b>27,22</b>	<b>27,70</b>	<b>369,32</b>
Aviation	8.314,38	0,09	0,26							44,36	15,12	7,25	2,64
Marine	19.024,00	1,00	0,49							429,40	12,11	20,46	366,68
<b>Multilateral Operations</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>							<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>
<b>CO2 Emissions from Biomass</b>		<b>15.441,62</b>											

**Tabla 66: Impactos estimados por el ACV -IO para el ciclo de vida de la producción de bioetanol**

Sectores	Actividad	Actividad	Consumos								Empleo
	Económica	Económica	energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	
	M€2000	Directa M€ 2000	TJ								
<b>Total</b>	<b>610,65</b>	<b>565,93</b>	<b>1400,01</b>	<b>108315,36</b>	<b>1263,80</b>	<b>16269,03</b>	<b>340,53</b>	<b>10,85</b>	<b>1015,15</b>	<b>307,82</b>	<b>13689,15</b>
Agricultura, ganadería y caza	1,97	0,34	1,29	-30480,84	0,05	7,23	0,00	0,00	0,00	0,00	26,83
Selvicultura y explotación forestal	0,86	0,00	4,41	644,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,30
Pesca y acuicultura	-10,14	-11,30	-35,73	-5189,74	-0,21	-308,87	-10,26	-31,59	-74,87	-36,93	-87,32
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	180,64	151,71	28,45	113778,35	2,85	547,70	86,31	243,28	1307,00	275,69	4,62
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	4,43	0,14	11,40	297,78	0,00	0,01	6,45	0,08	1,33	0,15	4,98
Extracción de minerales metálicos	3,19	0,98	10,73	123,15	0,00	0,01	2,45	0,06	0,71	0,06	22,20
Extracción de minerales no metálicos	34,66	4,79	314,97	33748,46	0,96	15,94	27,68	105,49	251,68	22,98	12,04
Coquerías, refinado y combustibles nucleares	-124,66	-141,98	-11380,69	-628359,77	-12,32	-64,08	-2015,75	-6177,96	-984,34	-112,70	-251,70
Producción y distribución de energía eléctrica	224,38	217,85	1501,26	232438,47	4,66	51,86	1092,79	3634,04	1671,10	146,71	302,53
Producción y distribución de gas	12,79	11,09	49,13	0,00	13,62	323,48	5,40	1,62	139,02	95,69	113,59
Captación, depuración y distribución de agua	2,45	0,15	1,50	128,11	0,00	0,02	1,17	0,03	0,38	2,54	10,60
Industria cárnica	1,71	0,03	2,51	131,51	0,00	0,02	0,82	0,02	0,26	2,57	7,02
Industrias lácteas	108,56	72,05	147,66	7986,02	0,21	1,27	51,99	1,16	16,61	155,40	693,58
Otras industrias alimenticias	0,73	0,03	0,65	37,41	0,00	0,01	0,35	0,01	0,11	0,75	3,07

Sectores	Actividad	Actividad	Consumos								Empleo
	Económica	Económica	energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	
	M€2000	Directa M€									
	2000	TJ									
Elaboración de bebidas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Industria del tabaco	4,38	0,42	10,40	225,91	0,01	0,17	1,51	1,09	0,39	0,18	41,38
Industria textil	2,38	0,20	1,15	50,54	0,00	0,00	0,30	0,22	0,09	0,01	30,40
Industria de la confección y la peletería	1,42	0,01	0,63	38,85	0,00	0,09	0,20	0,19	0,06	0,20	15,65
Industria del cuero y del calzado	7,75	2,57	12,86	405,31	0,02	0,01	4,17	0,86	1,17	0,10	87,96
Industria de la madera y el corcho	16,75	1,45	89,63	5519,86	0,24	0,88	11,53	8,73	1,32	0,22	71,59
Industria del papel	9,78	0,20	3,70	456,61	0,02	0,00	0,96	0,77	0,24	3,47	100,86
Edición y artes gráficas	108,87	56,23	284,74	17590,70	17,06	7,35	54,38	96,87	12,36	18,07	316,12
Industria química	21,51	5,15	19,89	438,90	0,03	0,60	1,67	2,62	0,48	0,01	149,77
Industria del caucho y materias plásticas	2,06	1,55	55,06	2327,43	0,06	0,06	8,42	9,36	0,73	0,03	7,85
Fabricación de cemento, cal y yeso	3,29	1,13	27,88	3710,66	0,09	0,10	13,43	14,92	1,17	0,04	21,95
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	2,75	2,08	51,87	3100,72	0,08	0,08	11,22	12,46	0,98	0,04	34,28
Industrias de la cerámica	12,24	10,74	39,93	13792,97	0,33	0,36	49,93	55,45	4,35	0,16	109,02
Fabricación de otros productos minerales	71,22	35,60	555,11	26549,64	0,44	3,37	76,91	140,98	1093,37	16,62	184,84
Metalurgia	166,12	123,80	184,22	2579,55	0,09	0,06	27,88	0,64	9,09	3,88	1738,42
Fabricación de productos metálicos	28,93	8,23	11,33	410,46	0,03	0,01	2,41	1,76	0,74	0,40	155,46
Maquinaria y equipo mecánico	2,86	0,46	0,10	14,02	0,00	0,00	0,15	0,00	0,05	0,02	4,28
Máquinas de oficina y equipos informáticos	3,31	-1,30	2,03	77,04	0,00	0,00	0,83	0,02	0,27	0,03	17,53

Sectores	Actividad Económica M€2000	Actividad Económica Directa M€	Consumos energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	Empleo
		2000	TJ								
Fabricación de maquinaria y material eléctrico	2,02	0,03	0,18	29,07	0,00	0,00	0,14	0,15	0,04	0,00	4,19
Fabricación de material electrónico	0,51	0,04	0,04	1,76	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	2,72
Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	12,72	1,00	0,69	76,88	0,00	0,00	0,41	0,37	0,12	0,50	34,81
Fabricación de vehículos de motor y remolques	1,92	0,17	1,01	31,10	0,00	0,00	0,12	0,19	0,03	0,09	11,85
Fabricación de otro material de transporte	2,35	-0,03	0,46	78,61	0,00	0,00	0,67	0,17	0,21	0,48	28,25
Muebles y otras industrias manufactureras	9,37	0,11	22,21	594,75	0,01	0,03	12,97	0,19	2,83	0,14	33,79
Reciclaje	13,77	3,07	0,70	227,90	0,01	0,01	2,98	0,06	0,84	2,22	178,61
Construcción	22,13	8,18	5,94	259,18	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	467,82
Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	39,42	18,15	9,27	461,59	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	428,47
Comercio al por mayor e intermediarios	4,87	2,38	1,07	57,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	168,52
Comercio al por menor; reparación de efectos personales	3,35	0,45	0,82	39,26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	41,21
Alojamiento	1,76	0,28	0,40	20,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,59
Restauración	0,64	0,16	7,02	91,54	0,04	0,01	4,59	0,06	4,79	4,67	11,63



Sectores	Actividad	Actividad	Consumos								Empleo
	Económica	Económica	energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	
	M€2000	Directa M€									
	2000	TJ									
Transporte por ferrocarril	96,99	71,90	3485,29	3010,79	0,65	32,37	48,13	0,60	50,23	1116,80	1542,04
Transporte terrestre y transporte por tubería	1,78	0,43	53,96	1697,68	0,04	0,08	129,70	29,52	6,25	17,45	14,97
Transporte marítimo	3,79	0,33	90,75	2662,72	0,08	0,03	26,60	1,16	15,63	6,56	18,08
Transporte aéreo y espacial	40,08	14,53	11,54	469,30	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	258,84
Actividades anexas a los transportes	1,77	0,23	0,39	20,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Actividades de agencias de viajes	15,21	1,22	3,35	178,11	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	106,94
Correos y telecomunicaciones	22,91	8,86	5,51	268,28	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	208,32
Intermediación financiera	20,83	17,79	6,29	243,94	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	168,28
Seguros y planes de pensiones	12,18	6,87	2,79	142,68	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	57,23
Actividades auxiliares	14,57	0,70	3,43	172,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	17,16
Actividades inmobiliarias. Alquiler imputado	22,06	1,74	5,22	258,37	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	91,06
Alquiler de maquinaria y enseres domésticos	3,07	0,47	0,75	35,92	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	27,15
Actividades informáticas	3,38	0,38	1,73	39,59	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	8,15
Investigación y desarrollo	69,90	11,75	15,48	825,45	0,01	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	817,79
Otras actividades empresariales	5,41	0,93	1,24	63,36	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	117,36
Educación de mercado	5,65	3,00	1,24	66,16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	99,74
Sanidad y servicios sociales de mercado	2,26	0,90	0,50	50,52	0,02	242,65	0,96	0,29	24,62	16,95	19,85
Saneamiento público de mercado	0,57	0,15	0,13	6,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,77

Sectores	Actividad Económica M€2000	Actividad Económica Directa M€ 2000	Consumos energéticos TJ	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	Empleo
Actividades asociativas de mercado	4,53	0,01	1,02	53,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	38,97
Actividades recreativas, culturales y deportivas	0,34	0,00	0,08	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,18
Actividades diversas de servicios personales	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Administración pública	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sanidad y servicios sociales de no mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Educación de no mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saneamiento público de no mercado de las AAPP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Actividades recreativas y culturales de no mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Actividades asociativas de no mercado de las ISFLSH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hogares que emplean personal doméstico	1979,97	1296,53	-2851,42	-76873,04	1293,06	17132,69	83,12	-1833,24	4576,61	2070,09	22716,20

**Tabla 67: Impactos estimados por el ACV -IO para el ciclo de vida de la producción de electricidad en la planta termosolar cilindro-parabólica**

Sectores	Actividad Económica	Actividad Económica Directa	Consumos energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	Empleo
	M€2000	M€ 2000	TJ								
<b>Total</b>	<b>691,20</b>	<b>422,85</b>	<b>6013,31</b>	<b>3316,64</b>	<b>1336,21</b>	<b>606,84</b>	<b>1340,72</b>	<b>2507,12</b>	<b>391229,87</b>	<b>55,95</b>	<b>3485,09</b>
Agricultura, ganadería y caza	1,32	0,15	3,02	0,02	0,73	0,66	35,06	2,19	233,44	2,72	29,50
Selvicultura y explotación forestal	0,95	0,14	0,62	0,00	0,00	0,00	3,48	0,00	-14673,06	0,02	12,92
Pesca y acuicultura	0,04	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,21	0,00	0,69
Extracción de antracita, hulla, lignito y turba	3,84	2,14	13,51	11,95	3,88	13,97	116,84	28,32	1963,10	0,08	33,03
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	57,49	35,01	9,06	77,43	27,47	87,75	54,71	415,99	36213,38	0,91	1,47
Extracción de minerales metálicos	3,34	2,17	8,59	0,06	4,86	0,11	0,01	1,01	224,28	0,00	3,75
Extracción de minerales no metálicos	3,41	2,27	11,45	0,07	2,61	0,07	0,01	0,76	131,44	0,00	23,69
Coquerías, refinado y combustibles nucleares	27,74	11,25	252,04	84,42	22,15	18,39	12,76	201,39	27005,95	0,77	9,64
Producción y distribución de energía eléctrica	36,04	26,44	3289,96	1785,94	582,72	32,58	18,52	284,56	181647,91	3,56	72,76
Producción y distribución de gas	56,60	53,59	378,72	916,75	275,67	37,01	491,95	421,56	58636,34	1,18	76,32
Captación, depuración y distribución de agua	19,46	18,96	74,77	2,46	8,22	145,62	492,27	211,57	0,00	20,72	172,86
Industria cárnica	0,34	0,09	0,21	0,00	0,16	0,35	0,00	0,05	17,70	0,00	1,46
Industrias lácteas	0,09	0,02	0,13	0,00	0,04	0,13	0,00	0,01	6,88	0,00	0,37
Otras industrias alimenticias	1,29	0,33	1,75	0,01	0,62	1,84	0,02	0,20	94,80	0,00	8,23

Sectores	Actividad	Actividad	Consumos								Empleo
	Económica	Económica	energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	
	M€2000	Directa M€									
		2000									
Elaboración de bebidas	0,45	0,11	0,40	0,00	0,21	0,46	0,00	0,07	22,75	0,00	1,87
Industria del tabaco	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Industria textil	2,16	0,43	5,14	0,54	0,75	0,09	0,08	0,19	111,69	0,01	20,46
Industria de la confección y la peletería	1,02	0,21	0,49	0,09	0,13	0,00	0,00	0,04	21,61	0,00	13,00
Industria del cuero y del calzado	0,53	0,01	0,24	0,07	0,08	0,08	0,03	0,02	14,65	0,00	5,90
Industria de la madera y el corcho	2,97	0,47	4,92	0,33	1,59	0,04	0,00	0,45	155,13	0,01	33,67
Industria del papel	9,65	1,63	51,66	5,03	6,65	0,13	0,51	0,76	3181,48	0,14	41,26
Edición y artes gráficas	5,95	1,05	2,25	0,47	0,59	2,11	0,00	0,15	277,60	0,01	61,32
Industria química	152,90	124,86	399,88	136,04	76,37	25,38	10,32	17,36	24704,35	23,95	443,96
Industria del caucho y materias plásticas	9,12	2,66	8,44	1,11	0,71	0,01	0,26	0,20	186,13	0,01	63,52
Fabricación de cemento, cal y yeso	1,09	0,76	29,17	4,96	4,46	0,01	0,03	0,39	1232,90	0,03	4,16
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	29,83	29,03	252,68	135,17	121,71	0,40	0,89	10,60	33625,20	0,81	198,87
Industrias de la cerámica	0,56	0,24	10,53	2,53	2,28	0,01	0,02	0,20	629,32	0,02	6,96
Fabricación de otros productos minerales	6,98	6,30	22,77	31,63	28,48	0,09	0,21	2,48	7867,24	0,19	62,18
Metalurgia	53,75	39,56	418,96	106,40	58,04	12,55	2,54	825,20	20037,95	0,33	139,50
Fabricación de productos metálicos	21,29	4,23	23,61	0,08	3,57	0,50	0,01	1,16	330,60	0,01	222,80
Maquinaria y equipo mecánico	17,44	8,27	6,83	1,06	1,45	0,24	0,01	0,45	247,35	0,02	93,68
Máquinas de oficina y equipos informáticos	1,18	0,05	0,04	0,00	0,06	0,01	0,00	0,02	5,77	0,00	1,76

Sectores	Actividad Económica M€2000	Actividad Económica Directa M€ 2000	Consumos energéticos TJ	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	Empleo
Fabricación de maquinaria y material eléctrico	3,85	1,03	2,35	0,02	0,97	0,04	0,00	0,31	89,44	0,00	20,35
Fabricación de material electrónico	1,03	0,04	0,09	0,07	0,07	0,00	0,00	0,02	14,89	0,00	2,14
Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	0,25	0,07	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,86	0,00	1,34
Fabricación de vehículos de motor y remolques	4,10	0,05	0,22	0,12	0,13	0,16	0,00	0,04	24,76	0,00	11,21
Fabricación de otro material de transporte	0,74	0,01	0,39	0,07	0,05	0,04	0,00	0,01	12,00	0,00	4,57
Muebles y otras industrias manufactureras	1,21	0,04	0,24	0,09	0,34	0,25	0,00	0,11	40,48	0,00	14,55
Reciclaje	7,02	4,52	16,64	0,14	9,72	0,11	0,02	2,12	445,79	0,01	25,33
Construcción	7,01	2,54	0,36	0,03	1,52	1,13	0,00	0,43	115,97	0,00	90,88
Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	7,24	2,07	1,95	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	84,82	0,00	153,10
Comercio al por mayor e intermediarios	9,79	3,63	2,30	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	114,61	0,00	106,39
Comercio al por menor; reparación de efectos personales	0,93	0,15	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,87	0,00	32,10
Alojamiento	1,84	0,45	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,54	0,00	22,61
Restauración	0,96	0,29	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,29	0,00	11,85

Sectores	Actividad Económica M€2000	Actividad Económica Directa M€ 2000	Consumos energéticos					CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	Empleo
			TJ												
Transporte por ferrocarril	0,42	0,18	4,55	0,04	2,97	3,03	0,00	3,10	59,32	0,02	7,54				
Transporte terrestre y transporte por tubería	17,07	7,74	613,54	0,62	25,93	205,66	5,70	54,03	2934,54	0,30	271,46				
Transporte marítimo	0,61	0,14	18,49	10,11	44,44	5,98	0,03	2,14	581,63	0,01	5,13				
Transporte aéreo y espacial	1,91	0,48	45,78	0,59	13,42	3,31	0,02	7,88	1343,26	0,04	9,12				
Actividades anexas a los transportes	12,55	2,73	3,61	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	146,94	0,00	81,04				
Actividades de agencias de viajes	1,19	0,44	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,96	0,00	0,00				
Correos y telecomunicaciones	8,99	2,15	1,98	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	105,28	0,00	63,21				
Intermediación financiera	7,66	2,39	1,84	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	89,66	0,00	69,62				
Seguros y planes de pensiones	1,46	0,35	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,08	0,00	11,78				
Actividades auxiliares	1,71	0,25	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,01	0,00	8,03				
Actividades inmobiliarias. Alquiler imputado	6,29	1,30	1,48	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	74,23	0,00	7,40				
Alquiler de maquinaria y enseres domésticos	8,02	0,94	1,90	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	93,92	0,00	33,10				
Actividades informáticas	1,65	0,44	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,31	0,00	14,60				
Investigación y desarrollo	2,67	1,12	1,36	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	31,22	0,00	6,43				
Otras actividades empresariales	37,28	13,56	8,26	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	440,25	0,01	436,17				
Educación de mercado	2,22	0,63	0,51	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	25,94	0,00	48,06				
Sanidad y servicios sociales de mercado	1,11	0,28	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,96	0,00	19,54				
Saneamiento público de mercado	0,88	0,33	0,19	0,11	0,37	6,57	94,13	9,55	19,60	0,01	7,70				

Sectores	Actividad Económica	Actividad Económica Directa	Consumos energéticos	CO <sub>2</sub> t	N <sub>2</sub> O t	CH <sub>4</sub> t	NO <sub>x</sub> t	SO <sub>x</sub> t	CO t	COVNM t	Empleo
	M€2000	M€	TJ								
Actividades asociativas de mercado	0,25	0,07	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95	0,00	2,09
Actividades recreativas, culturales y deportivas	2,37	0,02	0,54	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	27,73	0,00	20,39
Actividades diversas de servicios personales	0,14	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68	0,00	4,70
Administración pública	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sanidad y servicios sociales de no mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Educación de no mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saneamiento público de no mercado de las AAPP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Actividades recreativas y culturales de no mercado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Actividades asociativas de no mercado de las ISFLSH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hogares que emplean personal doméstico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Los tres pilares del desarrollo sostenible .....	3
Figura 2: Etapas del ACV. Fuente: Elaboración propia .....	16
Figura 3: Esquema de las etapas de un ciclo de vida Fuente: Elaboración propia .....	26
Figura 4: Elementos de la fase de EICV. Fuente: ISO 14040:2006 .....	28
Figura 5: Esquema de la relación entre la etapa de inventario y a evaluación de impactos .....	30
Figura 6: Esquema de una tabla origen simplificada .....	39
Figura 7: Esquema de una tabla destino simplificada .....	40
Figura 8: Esquema explicativo de la desagregación de una actividad industrial .....	63
Figura 9: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones a partir de emisiones atmosféricas del INE.....	66
Figura 10: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones a partir de la producción de cada rama de actividad en la TSIO. ....	67
Figura 11: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones no asignadas. ...	68
Figura 12: Esquema de los procesos considerados en el sistema analizado. ....	72
Figura 13: Esquema de las labores agrícolas consideradas .....	74
Figura 14: Esquema explicativo de la desagregación de las emisiones no asignadas a partir de la desagregación de las emisiones asignadas. ....	77
Figura 15: Esquema del ACV-IO para la etapa Agrícola .....	80
Figura 16: Esquema explicativo de la extensión de los límites del sistema .....	89
Figura 17: Esquema de los procesos considerados en el sistema analizado .....	92
Figura 18: Componentes de la planta termosolar y ejemplo del ACV-IO para captadores .....	97
Figura 19: Porcentaje de contribución por etapas a los impactos.....	109
Figura 20: Consumo de energía y emisiones en la etapa agrícola por MJ de bioetanol	111
Figura 21: Consumo de energía y emisiones en la etapa de producción de bioetanol .	114
Figura 22: Consumo de energía y emisiones en la producción de 1 MJ de bioetanol en España .....	118
Figura 23: Etapa agrícola: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol .....	121
Figura 24: Etapa agrícola: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol .....	126



Figura 25: Consumo de energía y emisiones en la operación y mantenimiento con extensión de los límites del sistema .....	130
Figura 26: Etapa de operación y mantenimiento: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol.....	132
Figura 27: Etapa de operación y mantenimiento: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol.....	135
Figura 28: Etapa de operación y mantenimiento: principales ramas de actividad para cada impacto por MJ de bioetanol.....	137
Figura 29: Consumos energéticos y emisiones por etapas y metodología .....	139
Figura 30: Emisiones de GEI por etapas y metodología .....	147
Figura 31: Consumo energético de la producción de bioetanol de trigo en otras fuentes consultadas.....	149
Figura 32: Emisiones de CO <sub>2</sub> de la producción de bioetanol de trigo en otras fuentes consultadas.....	150
Figura 33: Porcentaje de contribución por etapas a los impactos.....	154
Figura 34: Consumo de energía y emisiones de los componentes de la planta solar ...	156
Figura 35: Consumo de energía y emisiones de cada componente del campo solar ....	158
Figura 36: Consumo de energía y emisiones de cada componente del bloque de potencia .....	161
Figura 37: Consumo de energía y emisiones por componentes del sistema de almacenamiento .....	163
Figura 38: Consumo de energía y emisiones por componentes de la etapa de operación y mantenimiento .....	165
Figura 39: Porcentaje de contribución por etapas a los impactos.....	169
Figura 40: Ramas de actividad con mayor contribución a los impactos de la producción de electricidad en la planta termosolar .....	171
Figura 41: Emisiones de gases de efecto invernadero e impactos socioeconómicos de los componentes de la planta solar por kWh.....	175
Figura 42: Consumo de energía y emisiones de los componentes de la planta solar por kWh.....	176
Figura 43: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos del campo solar .....	178
Figura 44: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos del bloque de potencia .....	181

Figura 45: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos del sistema de almacenamiento .....	184
Figura 46: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos de los edificios .....	188
Figura 47: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos de la construcción.....	191
Figura 48: Ramas de actividad con mayor contribución en los impactos de la etapa de operación y mantenimiento.....	195
Figura 49: Consumos energéticos y emisiones por etapas y metodología .....	199
Figura 50: Emisiones de CH <sub>4</sub> de los procesos implicados en la producción de acero para el campo solar. ....	202
Figura 51: Consumos energéticos y emisiones por etapas y metodología .....	205
Figura 52: Consumo energético de la producción de electricidad en plantas termosolares en otras fuentes consultadas.....	209
Figura 53: Emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de electricidad en plantas termosolares en otras fuentes consultadas .....	209
Figura 54: Perfil de sostenibilidad de las tecnologías analizadas .....	211

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Esquema simplificado de una matriz I-O .....	41
Tabla 2: Esquema de una matriz I-O .....	43
Tabla 3: Tabla destino a precios básicos millones € <sub>2000</sub> .....	60
Tabla 4: Gasto en miles de €de productos energéticos. Encuesta de Consumo Energético. INE .....	62
Tabla 5: Inventario de emisiones España año 2000.....	65
Tabla 6: Cuenta satélite de emisiones para España año 2000 .....	65
Tabla 7: Desagregación de emisiones para el conjunto <i>Pasta, Papel e Imprenta</i> .....	66
Tabla 8: Participación de cada rama de actividad a la producción total del conjunto Servicios .....	67
Tabla 9: Descripción de la maquinaria agrícola .....	75
Tabla 10: Composición del mix eléctrico de España 2006.....	78
Tabla 11: Evolución de los precios de los principales cereales .....	81
Tabla 12: Características principales de dos plantas .....	82
Tabla 13: Costes fijos de ambas plantas .....	83
Tabla 14: Materiales del edificio utilizado para el cálculo .....	84
Tabla 15: Materiales para la Operación y Mantenimiento de la Planta.....	85
Tabla 16: Principales características de la planta .....	90
Tabla 17: Cantidades y ramas de actividad demandas para un captador.....	97
Tabla 18: Maquinaria de construcción y precios unitarios .....	98
Tabla 19: Coste del transporte de mercancías .....	99
Tabla 20: Coste total de una planta termosolar cilindro-parabólica .....	101
Tabla 21: Resultados ACV por MJ de bioetanol de cebada en España .....	106
Tabla 22: Resultados etapa agrícola .....	109
Tabla 23: Resultados etapa de producción de bioetanol.....	112
Tabla 24: Resultados ACV –IO por MJ de bioetanol de cebada en España .....	116
Tabla 25: Ramas de actividad con mayor contribución a la actividad económica, la generación de empleo y el consumo de energía por MJ de bioetanol producido .....	122
Tabla 26: Ramas de actividad con mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero por MJ de bioetanol producido .....	123
Tabla 27: Ramas de actividad con mayor contribución a otras emisiones por MJ de bioetanol producido .....	124

Tabla 28: Etapa agrícola: ramas de actividad con mayor contribución a los impactos socioeconómicos y el consumo energético por MJ de bioetanol.....	125
Tabla 29: Etapa agrícola: ramas de actividad con mayor contribución a los gases de efecto invernadero por MJ de bioetanol.....	127
Tabla 30: Etapa agrícola: ramas de actividad con mayor contribución por MJ de bioetanol.....	127
Tabla 31: Resultados para la etapa de operación y mantenimiento.....	129
Tabla 32: Etapa de Operación y Mantenimiento: ramas de actividad con mayor y menor contribución por MJ de bioetanol a la actividad económica, el consumo de energía y la generación de empleo. ....	131
Tabla 33: Etapa de operación y mantenimiento: ramas de actividad con mayor y menor contribución por MJ de bioetanol a las emisiones de gases de efecto invernadero.....	134
Tabla 34: Etapa Operación y Mantenimiento: ramas de actividad con mayor y menor contribución por MJ de bioetanol a otras emisiones.....	136
Tabla 35: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO.....	139
Tabla 36: Consumos energéticos estimados para distintas demandas agrícolas mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos.....	141
Tabla 37: Emisiones de NOx estimados para distintas demandas agrícolas mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos.....	142
Tabla 38: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO.....	145
Tabla 39: Emisiones de CO <sub>2</sub> estimados para distintas demandas de productos químicos el análisis EIO-LCA de Estados Unidos.....	146
Tabla 40: Emisiones de N <sub>2</sub> O estimados para distintas demandas de productos químicos mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos.....	148
Tabla 41: Resultados ACV por kWh de electricidad.....	152
Tabla 42: Resultados de los componentes de la planta solar.....	155
Tabla 43: Resultados de los impactos por componentes del campo solar.....	157
Tabla 44: Resultados de los impactos por componente del bloque de potencia.....	160
Tabla 45: Resultados de los impactos por componente del sistema de almacenamiento.....	162
Tabla 46: Resultados de los impactos por componente de la operación y mantenimiento.....	164
Tabla 47: Resultados ACV–IO por kWh de electricidad.....	167

Tabla 48: Ramas de actividad con mayor contribución a los impactos socioeconómicos y el consumo de energía por kWh de electricidad en el ciclo de vida .....	170
Tabla 49: Ramas de actividad con mayor contribución a los gases de efecto invernadero por kWh de electricidad en el ciclo de vida.....	171
Tabla 50: Ramas de actividad con mayor contribución a otras emisiones por kWh de electricidad en el ciclo de vida.....	172
Tabla 51: Resultados ACV –IO de los impactos por componentes del campo solar ...	174
Tabla 52: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para el campo solar.....	177
Tabla 53: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para el bloque de potencia .....	180
Tabla 54: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para el sistema de almacenamiento .....	183
Tabla 55: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para los edificios .....	187
Tabla 56: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para la etapa de construcción de la infraestructura.....	190
Tabla 57: Ramas de actividad con mayor contribución a cada impacto analizado por kWh de electricidad para la etapa de operación y mantenimiento .....	194
Tabla 58: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO .....	198
Tabla 59: Resultados obtenidos con el ACV y el ACV –IO .....	201
Tabla 60: Emisiones de CH <sub>4</sub> estimados para distintas demandas de productos químicos mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos .....	204
Tabla 61: Emisiones de N <sub>2</sub> O estimados para distintas demandas de productos químicos mediante el análisis EIO-LCA de Estados Unidos .....	206
Tabla 62: Emisiones estimados mediante el ACV y el ACV –IO para el transporte de 1tkm en distintos medios .....	207
Tabla 63: Datos consumos energéticos año 2000 para España. Eurostat .....	i
Tabla 64: Correspondencia de sectores en Eurostat con la contabilidad nacional de España .....	iv
Tabla 65: Inventario Nacional de Emisiones del año 2000 .....	viii
Tabla 66: Impactos estimados por el ACV -IO para el ciclo de vida de la producción de bioetanol .....	xi

Tabla 67: Impactos estimados por el ACV -IO para el ciclo de vida de la producción de electricidad en la planta termosolar cilindro-parabólica.....xvi



