



**Departamento de Ingeniería
Química y Tecnologías
del Medio Ambiente
Universidad Zaragoza**



Trabajo Final de Master Universitario

INICIACION A LA INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA QUÍMICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

Curso 2010-2011

ANÁLISIS DE DOS METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO PARA UN SISTEMA DE TRIGENERACIÓN OPTIMIZADO.

Autor:
MIGUEL BOLEA GARCIA

Director:
MONICA CARVALHO

Ponente:
LUIS MARIA SERRA RENOBALES

Junio 2011

Análisis de dos metodologías de cálculo de la Huella de Carbono para un sistema de trigeneración optimizado.

Resumen

La Huella de Carbono es un indicador de los impactos ambientales. Conocer sus consecuencias ambientales de modo comprensible y fácil de comunicar, es una demanda de las empresas y organizaciones. En este trabajo se ha desarrollado el análisis de metodologías y procedimientos para el cálculo de emisiones de CO₂, aplicándolos a un sistema de trigeneración optimizado. Estas metodologías incluyen la investigación de bases de datos para aplicar adecuadamente los mismos. Se ha considerado un sistema de trigeneración optimizado de un hospital de tamaño medio con 500 camas, ubicado en Zaragoza que tiene que atender las demandas de calor (agua caliente sanitaria y calefacción), refrigeración, y electricidad. Se ha procedido a calcular las emisiones de CO₂ mediante el Análisis del Ciclo de Vida ACV, por medio de la metodología CML2 baseline 2000, para su categoría de impacto *Cambio Climático*, utilizando el software Sima Pro 7.3. Los factores de caracterización de esta categoría de impacto están expresados como la contribución potencial de una sustancia al calentamiento global para un horizonte temporal de 100 años (GWP100, Global Warming Potential), en kg CO₂ equivalente/kg emisión. Las emisiones de CO₂ para la Huella de Carbono se han calculado mediante el *Método Compuesto de las Cuentas Contables*, MC3, utilizando la Hoja de Cálculo MC3v2. El MC3, recoge los consumos de las principales categorías de productos que una empresa necesita, existiendo también apartados para los residuos generados y el uso del suelo. Esos consumos/residuos serán transformados a toneladas de CO₂ equivalentes, que sirven para el cálculo de la Huella de Carbono. Se ha procedido a analizar los resultados obtenidos comparándolos. Se ha mostrado que aun siendo metodologías muy diferentes conceptualmente los resultados son similares, lo que sugiere que el método MC3, de un modo comprensible y sencillo, puede ser una herramienta útil a las empresas y organizaciones para evaluar la Huella de Carbono de sus bienes y servicios.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	5
2 DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS APLICADAS.	7
2.1 Análisis del ciclo de vida (ACV)	7
2.1.1 Método CML 2 baseline 2000	8
2.1.2 Software SimaPro 7.3	10
2.2 Descripción del Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3)	12
2.2.1 Metodología del MC3 y Software	14
2.2.2 Estructura de la hoja de cálculo	15
2.3 Descripción del sistema de trigeneración optimizado	17
2.3.1 Descripción del sistema	17
3 RESULTADOS Y COMPARACIÓN	20
3.1 Resultados de la Metodología CML2 baseline 2000	20
3.2 Resultados de la Metodología MC3	22
3.3 Comparación de los resultados	23
4 CONCLUSIONES	26
5 BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO I. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS TÉRMICOS	34
I1. MGWH: Motor de gas (produce agua caliente)	34
I2. CGWH: Caldera de gas (produce agua caliente)	34
I3. ICWC: Intercambiador agua-agua	35
I4. FAWH: Enfriadora de absorción (S.E.)	35
I5. FMWR: Enfriadora mecánica	36
I6. ICWR: Torre de refrigeración (Marley NC8302)	36
I7. PROCESOS PARA ACEITE LUBRICANTE Y R134a	37

ANEXO II. EJEMPLO DE CÁLCULO PARA EL CML2 BASELINE 2000, PARA LA CATEGORÍA DE IMPACTO <i>CAMBIO CLIMÁTICO</i>.	40
ANEXO III. DIAGRAMAS DE ÁRBOL PARA LOS DISTINTOS COMPONENTES DEL SISTEMA, OBTENIDOS MEDIANTE EL SIMA PRO 7.3	44
III1. MOTOR DE GAS (MGWH)	44
III2. CALDERA DE AGUA CALIENTE (CGWR)	45
III3. INTERCAMBIADOR DE CALOR (ICWH)	46
III4. ENFRIADOR DE ABSORCIÓN DE SIMPLE EFECTO (FAWH)	47
III5. ENFRIADORES MECÁNICOS (FMWR)	48
III6. TORRE DE REFRIGERACIÓN (ICWR)	49
III7. MIX ELECTRICO ESPAÑOL	50
III8. GAS NATURAL	51
III9. SISTEMA TRIGENERACION OPTIMIZADO	52
ANEXO IV. APLICACIÓN ILUSTRATIVA PARA EL GAS NATURAL UTILIZADO Y PARA LOS MATERIALES (EQUIPOS, ACEITE, REFRIGERANTE) EN LA METODOLOGÍA MC3 CON LA HOJA DE CÁLCULO MC3V.2	53
IV1. Calculo para el Gas Natural	53
IV2.Calculo de los materiales	55
ANEXO V. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRIGENERACIÓN OPTIMIZADO	61
V1. Sistema de Trigeneración y escenario económico	61
V2. Demandas energéticas	62
V3. Equipos	62
V4. Tarifas de gas y electricidad	63
V5. Evaluación ambiental	64

1 Introducción y Objetivos del Trabajo

La Huella de Carbono (HC) es un indicador que evalúa la sostenibilidad de las empresas y organizaciones. La necesidad de conocer la HC, es un modo de diferenciarse en los mercados, contribuyendo a incrementar la productividad y competitividad de sus bienes o servicios.

La gestión medioambiental a nivel corporativo está tradicionalmente vinculada al control de los impactos directos tratando de establecer actuaciones que afecten a cuestiones como el consumo de recursos o la generación de emisiones y residuos (Doménech, 2007). En los últimos años, se ha destacado la necesidad de adoptar una gestión integral del medio ambiente, considerando toda la cadena de suministradores de las empresas (Carbon Trust 2006, Wiedmann and Lenzen, 2009; Wiedmann et al., 2009).

La Huella Ecológica (HE), se define como la superficie terrestre productiva o el ecosistema acuático necesario para mantener el consumo de recursos y energía, así como para poder absorber los residuos producidos por una determinada población humana o economía, empleando la tecnología habitualmente utilizada, independientemente de dónde esté situada la superficie" (Wackernagel y Rees, 1996: 25)

Por otro lado, la HC evalúa la cantidad total de dióxido de carbono y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociados a un producto o servicio. La HC se evalúa mediante indicadores tales como el Potencial de Calentamiento Global (GWP) (European Commission, 2007).

Desde Global Footprint Network (2007), se define la HC "como la demanda de biocapacidad necesaria para secuestrar, mediante fotosíntesis las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles".

Algunos estudios optan porque la HC incluya varios gases de efecto invernadero, expresando el indicador en toneladas equivalentes de CO₂ (Doménech, 2004 a, b; Carbon Trust, 2007; Simmons *et al.*, 2006; Carbon Footprint, 2008; Perry *et al.*, 2008). Por esto, la HC debe ser

considerado como un indicador que proporciona información expresada en toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂ eq).

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis comparativo de dos metodologías para el cálculo de la HC aplicadas a un sistema de trigeneración optimizada.

Por un lado, se obtendrán las emisiones de CO₂ de un sistema de trigeneración optimizado mediante el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), aplicando la metodología *CML2 baseline 2000* y teniendo en cuenta la categoría de impacto de “*Cambio Climático*”. El software utilizado es Sima Pro 7.3.

Por otro lado, el mismo sistema de trigeneración optimizado, será analizado por medio del método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) obteniendo el cálculo de la HC, en unidades de tCO₂ eq. Este sistema de cálculo de la HC ha sido desarrollado recientemente. La sencillez de su uso es una ventaja principal frente al ACV, extensamente conocido y utilizado, pero cuya complejidad supone un obstáculo fundamental para su uso generalizado. Sin embargo, es necesario verificar la aproximación de los resultados de ambos métodos para considerar al MC3 un método adecuado para su aplicación por personal menos experto en esta disciplina.

El proceso que se analiza es un sistema de trigeneración optimizado instalado en un hospital de tipo medio (500 camas) ubicado en Zaragoza (Carvalho, 2011). El análisis de toda la organización sería enorme y se considera que para comparar las dos metodologías es suficiente solo el sistema de trigeneración.

Las metodologías que se aplicaran a este sistema serán, por un lado, el ACV mediante el método CML2 baseline 2000, cuya categoría de impacto “*Cambio climático*” nos dará las emisiones de CO₂ de todos los componentes del sistema. Por otro lado, el método MC3, que nos calculará HC del mismo sistema de trigeneración optimizado.

2 Descripción de las metodologías aplicadas.

2.1 Análisis del ciclo de vida (ACV)

Para empezar a entender el concepto de ACV diferentes instituciones han desarrollado definiciones que pretender aunar todos los contenidos implícitos en la metodología ACV. Para ahondar en esta idea, a continuación se exponen las tres definiciones principales que se consideran referentes en este trabajo.

La primera definición consensuada del ACV (conocido en sus siglas en inglés como LCA de Life Cycle Assessment) y más utilizada hasta el momento se debe a la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental (SETAC, de Society Environmental, Toxicology And Chemistry), que considera al 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; con el objeto de determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y también evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento, y reciclado y disposición del residuo” (Consoli et al., 1993)

La ISO (International Organization for Standardization) también ha proporcionado relevantes aportaciones para el proceso de definición y ACV. Según la ISO estándar 14040 (2006), el ACV es:

“Una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto:

- compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema,
- evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas,
- interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”

La definición que da la norma española UNE 150-040:1996 es:

“El ACV es una recopilación y evaluación, conforme a un conjunto sistemático de procedimientos, de las entradas y salidas de materia y energía, y de los impactos ambientales potenciales directamente atribuibles a la función del sistema del producto a lo largo de su ciclo de vida”.

En resumen, el ACV nos permite evaluar objetivamente las cargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los flujos de materia y energía así como las emisiones al medio ambiente. El ACV también determina el impacto asociado al uso de recursos y generación de emisiones, permitiendo evaluar y diseñar estrategias de mejora ambiental.

2.1.1 Método CML 2 baseline 2000

Es un método elaborado por el Centro para Estudios Medioambientales (CML), Universidad de Leiden, Holanda (Pré Consultants, 2008). Las categorías de impacto incluidas en este método son las usadas en muchos estudios de ACV. Los indicadores *baseline* (estándar), están basados en el principio de la mejor práctica disponible, y son indicadores de categoría al nivel de los resultados (aproximación orientada al problema). Son adecuados para estudios simplificados.

Tabla 1. Categorías de impacto del CML2 baseline 2000.

Categorías de impacto del CML2 baseline 2000
Agotamiento recursos abióticos
Acidificación
Eutrofización
Calentamiento global
Disminución capa ozono
Toxicidad humana
Ecotoxicidad acuática del aguadulce
Ecotoxicidad acuática marina
Ecotoxicidad terrestre
Formación fotoquímica

De todas las categorías de este método utilizaremos la de cambio climático para evaluar el sistema de trigeneración optimizado, por medio del programa informático Sima Pro 7.3.

El cambio climático puede afectar negativamente a la salud humana, al ecosistema y al bienestar material. Se produce como consecuencia del incremento de temperatura en la capa más inferior de la atmósfera, que es calentada por la radiación proveniente del sol, y aunque parte de ella es reflejada por el suelo, el elevado contenido de CO₂ y otros gases denominados de efecto invernadero (CH₄, NO₂, CFC's, etc.) retienen alguna parte de la radiación reflejada causando dicha elevación de temperatura.

Los factores de caracterización de esta categoría de impacto están basados en el modelo de caracterización desarrollado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, (IPCC, 2007). Los factores están expresados como la contribución potencial de una sustancia al calentamiento global para un horizonte temporal de 100 años (GWP100, Global Warming Potencial), siendo la sustancia de referencia el CO₂, por lo tanto su GWP será la unidad y para el resto expresados en kg CO₂ equivalente/kg emisión. El alcance geográfico de este indicador es también global. El valor total será la suma de los efectos causados por cada sustancia, según indica la siguiente fórmula:

$$\text{Calentamiento Global} = \sum \text{GWP}_i \cdot m_i$$

Siendo GWP_i el potencial global de calentamiento de la sustancia i, (factores de conversión dados por el IPCC, los más relevantes se muestran en la Tabla 2), y m_i la cantidad de sustancia i emitida (de acuerdo con el inventario de emisiones al aire).

Tabla 2. Factores de conversión de las emisiones al aire (CML2)

Emisión al aire	GWP _i (tCO ₂ eq /t)
Dióxido de carbón	1
Monóxido de carbón	1.57
Cloroformo	30
N ₂ O	296
CFC-113	6000
HFC-143	330
HFC-116	11900
Metano	23
Halón 1001	5
HFC-23	12000
Hexafluoruro de azufre SF ₆	22200

En el Anexo II se muestra con detalles el cálculo del potencial de calentamiento global para el gas natural usado en nuestro caso.

2.1.2 Software SimaPro 7.3

El software SimaPro 7.3 es la séptima generación del software para el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) (Pré Consultants, 2008). Este programa permite analizar y comparar los aspectos medioambientales de un modo sistemático y consistente.

SimaPro está disponible en diferentes versiones y está provisto con extensas bases de datos y métodos de evaluación de impacto. Los datos en SimaPro están estructurados según los pasos dados por la ISO 14.040 (2006) para el ACV:

- Definir el objeto y alcance del estudio. Basado en la ISO 14.040; Principios Generales.
- Hacer un inventario de todas las emisiones y parámetros de consumo de recursos. Basado en la ISO 14.044 (2006); Inventario, Objeto y Alcance.
- Aplicar un método de evaluación de impacto a esos resultados. Basado en la ISO 14.044 (2006); Evaluación de Impacto.
- Interpretar los resultados. Basado en la ISO 14.044 (2006); Interpretación.

Las bases de datos de SimaPro contienen librerías, proyectos y datos generales (nombres de las sustancias, unidades, cantidades, tipos de

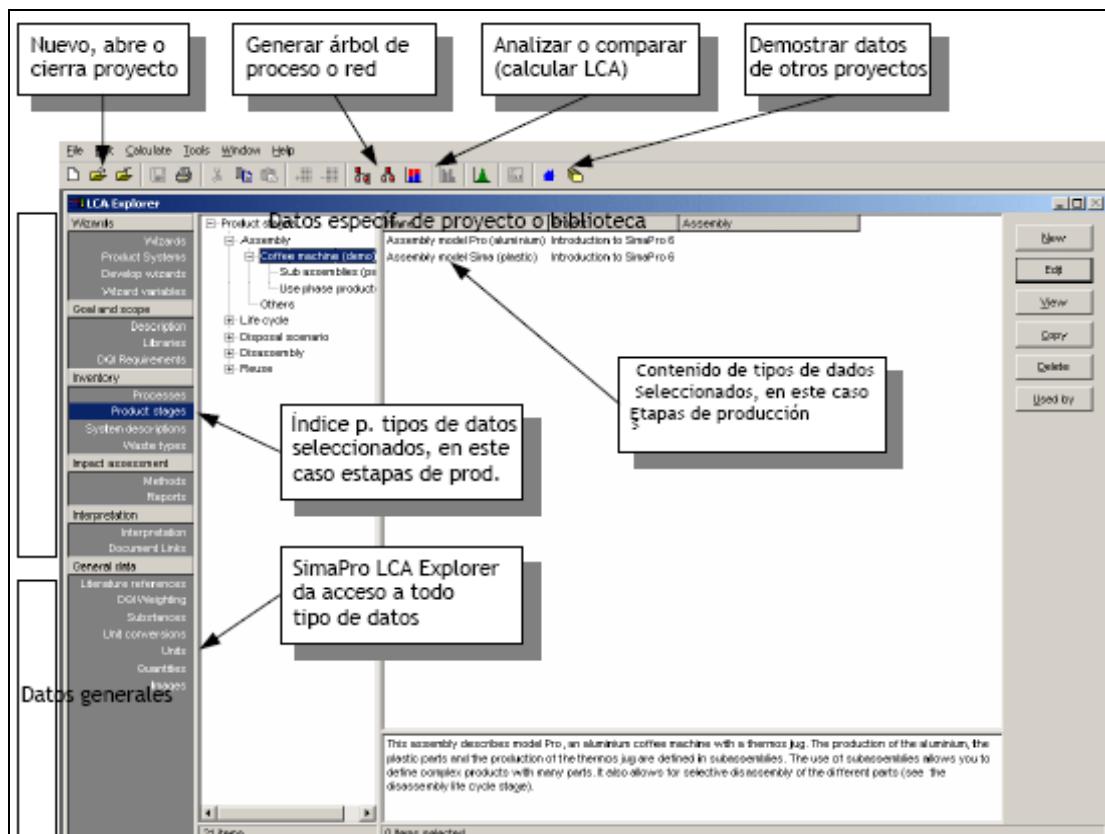
residuo y referencias bibliográficas). En la siguiente Tabla 3, se recogen las principales bases de datos disponibles en SimaPro 7.3.

Tabla 3. Resumen de las principales bases de datos del SimaPro 7.3.

Nombre	Contenido	Procesos
BUWAL 250(Suiza, 2001)	Materiales, energía, transporte y residuos generales, basados en la base de datos ETH pero sin bienes de capital (camiones, maquinaria),	286
ETH-ESU 96(Suiza, 2003),	Muchos procesos importantes de bases de datos de energía y transporte, incluyendo los bienes de capital. Aproximación para la situación europea media.	1.184
Idemat (Univ. Delft. Holanda, 2001)	Base de datos holandesa, recopilada de diferentes fuentes.	507
Industry data(Varios, 2007)	Datos publicados por asociaciones industriales, como APME y PWMI.	74
Ecoinvent(Suiza, 2006)	Datos de productos y servicios recogidos por instituciones y consultores suizos, válidos para Europa Occidental.	2.652
DK Input/Output 99 (2005)	Base de datos danesa, principalmente datos de productos producidos o utilizados en Dinamarca.	793
LCA food DK(Dinamarca, 2006)	Datos del sector consumo (agricultura, ganadería, pesca) en Dinamarca.	671
Methods (Varios)	Métodos de evaluación de impacto de diferentes fuentes.	22

Una vez abierta la aplicación SimaPro, se puede abrir un proyecto o bien una librería:

- Un *proyecto* es un área en la que se almacenan los datos que se recogen y procesan.
- Una *librería* es un tipo especial de proyecto que contiene los datos estándar proporcionados a SimaPro o datos de otros distribuidores. Son una fuente de datos para todos los proyectos.

Figura 1. Vista general de la pantalla de explorador de SimaPro: Procesos.

Una vez que se abre un proyecto o librería, aparece la pantalla del Explorador SimaPro ACV, que permite acceder a los diferentes tipos de datos en el software (Figura 1).

La parte superior de la pantalla del explorador contiene *datos específicos* de *librerías o proyectos*, la parte inferior los *datos generales* que no están almacenados en proyectos o librerías.

2.2 Descripción del Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3)

El método de cálculo que empleamos, *método compuesto de las cuentas contables*, MC3, ha sido desarrollado por Doménech (2004a, 2004b, 2007). Doménech parte de la necesidad de elaborar un método que permita calcular la huella de carbono HC de empresas y organizaciones, expresando esta huella en toneladas de CO₂, de modo que permita el cálculo de la huella de carbono corporativa HCC de forma sencilla mediante el uso de herramientas compatibles con la contabilidad de las empresas.

El origen del MC3, podemos encontrarlo en la huella familiar (Wackernagel et. al., 2000). Basándose en la matriz de consumos y superficies presente en la hoja de cálculo elaborada para el cálculo de la huella de los hogares de (Wackernagel et. al., 2000), Doménech, (2004a) elabora una matriz, la matriz consumos-superficies, que recoge los consumos de las principales categorías de productos que una empresa necesita, existiendo también apartados para los residuos generados y el uso del suelo. Esos consumos/residuos serán transformados a unidades de superficie y toneladas de CO₂.

El MC3 se aplicó inicialmente a la Autoridad Portuaria de Gijón (Doménech 2004a), siendo testado y mejorado por el Grupo de Trabajo sobre Mejora de la Huella Ecológica Corporativa, coordinado por el propio Doménech y en el que participan 5 universidades españolas.

Durante año y medio, el método ha sido aplicado a empresas de diferentes sectores económicos (Álvarez et al, 2008; Carballo et al, 2008; Caselles et al., 2008; Coto et al., 2008; Doménech y Arenales, 2008; Marañón et al., 2008) comprobándose su robustez y utilidad para proporcionar información relevante para la mejora del desempeño ambiental de empresas de cualquier sector económico.

La HC obtenida con la versión actual MC3 incluye las emisiones de CO₂ directas e indirectas, entendidas éstas como aquellas generadas en la producción/prestación de los bienes y servicios obtenidos. También incorpora las emisiones del resto de gases de efecto invernadero incluidos en el Protocolo de Kyoto, empleando los coeficientes de potencial de calentamiento (GWP) en un horizonte de 100 años elaborados por el IPCC (IPCC, 2007).

El indicador se expresa en toneladas equivalentes de CO₂ (tCO₂eq). Se incorporan en la HC las emisiones derivadas del uso de superficies (pastos, cultivos...) que, como los bosques, tienen capacidad para secuestrar CO₂.

La información necesaria para estimar la HC empleando el MC3 es obtenida, principalmente, de documentos contables como el balance y la cuenta de pérdidas y ganancias, lo que permite una clara delimitación de las actividades que están asociadas a cada organización: el MC3 estima la huella de todos los bienes y servicios

recogidos en las cuentas contables, los residuos generados debido a la adquisición de estos bienes y el espacio ocupado por todas las instalaciones de la empresa que recogen las cuentas contables. También recoge el concepto de Contrahuella que son las emisiones evitadas.

2.2.1 Metodología del MC3 y Software

La metodología de la huella de carbono corporativa mediante el MC3 ha sido descrito en detalle en los documentos de numerosos escritos previamente, tales como Carballo et al. (2009 a, b, c), Carballo y Doménech (en prensa), (Doménech, 2004a), (Doménech, 2006a, b), (Doménech y Carballo, 2009), (Doménech, 2007), (Doménech et al., 2010).

Las empresas compran máquinas, ordenadores, consumen electricidad, contratan servicios... todos ellos son consumos para los que la huella ecológica no puede ser calculada dividiendo el consumo entre la productividad de la superficie de la que proviene porque, al no ser bióticos, no proceden directamente de ninguna superficie.

Se recoge el impacto de la energía empleada en la producción de los bienes y servicios consumidos por la organización estudiada, además del consumo directo de energía. Estos consumos son, precisamente, los que originan la mayoría de la HC.

La estructura de la herramienta de cálculo utilizada incluye todas las posibles categorías de consumo, además de la ocupación del suelo y la generación de residuos (Tabla 4).

Tabla 4. Fuentes de emisiones contempladas en la huella del carbono (MC3 V.2). (Doménech, 2010)

SECCIONES DE CONSUMO	CATEGORIAS DE CONSUMO
1.Emisiones directas	1.1.Combustibles 1.2. Otras emisiones directas
2.Emisiones indirectas	2.1. Electricidad 2.2. Otras emisiones indirectas
3.Materiales	3.1.Materiales de flujo (mercancías) 3.2. Materiales no amortizables 3.3. Materiales amortizables (genéricos) 3.4. Materiales amortizables (obras) 3.5.Uso de infraestructuras públicas
4.Servicios y Contratas	4.1.Servicios con baja movilidad 4.2.Servicios con alta movilidad 4.3.Servicios de transporte de personas 4.4.Servicios de transporte de mercancías 4.5.Uso de infraestructuras públicas
5.Recursos Agropecuarios y pesqueros	5.1. Vestuario y manufacturas 5.2.Productos agropecuarios 5.3.Servicios de restaurante
6.Recursos forestales	
7.Huella hídrica	7.1. Consumo de agua potable 7.2. Consumo de agua no potable
8.Uso del suelo	8.1.Sobre tierra firme 8.2. Sobre agua
9.Residuos, vertidos y emisiones	9.1. Residuos no peligrosos 9.2. Residuos peligrosos 9.3. Residuos radiactivos 9.4. Vertidos en efluentes 9.5. Emisiones 9.5.1.Gases GEI Protocolo de Kioto 9.5.2. Otros GEI o precursores 9.5.3. Otras emisiones atmosféricas

Es interesante notar que los datos de todos los insumos se obtienen de las cuentas financieras y por lo tanto sólo hay un ámbito que es siempre el mismo para todas las organizaciones (esta es una de las ventajas más importantes de la metodología).

2.2.2 Estructura de la hoja de cálculo

La primera columna corresponde a la descripción de las categorías de consumo. Se han agrupado como se puede ver en la Tabla 3 de arriba,

en emisiones directas, indirectas y otras emisiones, según los requisitos de algunos estándares.

El segundo grupo de columnas muestra los consumos anuales expresados en unidades específicas, como KW o m³. La siguiente en euros (tercera columna), en toneladas (cuarta columna) y en GJ (sexta columna). Para conocer este dato es preciso conocer la intensidad energética de los materiales, lo que se indica en la quinta columna, Figura 2a.

Como en las empresas no es posible conocer la contabilidad de los materiales, Doménech, recurre a factores de intensidad energética, que indican la energía consumida en la producción de cada categoría de producto, expresada en gigajulios por tonelada.

En el tercer grupo de columnas, se muestran los factores de emisión, tCO₂ eq/t combustible (columna siete) y las tCO₂/GJ (columna ocho).

Figura 2a. Estructura de la hoja de cálculo: las distintas columnas

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Unidades	Consumo anual					Factor emisión	
		en unidades de consumo [ud./año]	en euros sin IVA [€/año]	en toneladas [t/año]	[GJ/t]	en gigajulios [GJ/año]	[t CO₂ eq / t comb.]	[tCO₂/Gj]

El siguiente grupo de columnas que se muestra es la Huella por el tipo de ecosistema, en tCO₂. La penúltima columna es la de la Huella de Carbono en tCO₂ y la siguiente es la contrahuella en tCO₂, Figura 2b

Figura 2b. Estructura de la hoja de cálculo: las distintas columnas

Huella por tipo de ecosistema, en tCO₂						HUELLA TOTAL	CONTRA-HUELLA
bosques para CO₂ [tCO ₂]	tierra cultivable [tCO ₂]	pastos [tCO ₂]	bosques [tCO ₂]	terreno construido [tCO ₂]	mar [tCO ₂]		

La adquisición de los datos se obtendrá preferentemente de las cuentas contables de la organización o del centro de trabajo, ya que es el modo de incluir la totalidad de consumos, y, en consecuencia, de que toda organización proceda del mismo modo (facilita la comparabilidad).

Para el cálculo de la huella de los combustibles, como factores de conversión, se utilizará el mismo poder calorífico y factor de emisión utilizado en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España, en

sus sucesivas ediciones (basado a su vez en el IPCC). Cuando se conozcan factores de emisión específicos de la actividad, se utilizarán estos.

Para el cálculo de la huella eléctrica la conversión de los kWh a J se tendrá en cuenta el factor de ecoeficiencia o rendimiento de la tecnología de generación empleada. Se elegirá el factor de emisión más apropiado para convertir el consumo energético a emisiones de CO₂, de acuerdo a las siguientes prioridades: 1) el de las compañías suministradoras; 2) el utilizado por el Inventario Nacional; 3) el propuesto por organismos o estándares internacionales.

Para el cálculo de la huella de los materiales, la conversión de euros a toneladas se realizará por medio de los datos de exportación reflejados en las estadísticas nacionales y en bases de datos contrastadas. Inicialmente se propone utilizar los 99 Capítulos Arancelarios la base de datos de las Cámaras de Comercio (CSC, 2011).

Se tenderá a una única base de datos de intensidades energéticas de los materiales. Inicialmente se parte de la base de datos del Stockholm Environment Institute. Los materiales, con sus intensidades energéticas (alrededor de 300), incluidos en esta nueva versión de MC3 han sido extraídos de la *Methodology Report v12 Draft*, promovida por WWF One Planet Business, elaborado por autores del SEI (Stockholm Environment Institute), el SERI (Sustainable Europe Research Institute) y el Best Foot Forward (Simmons *et al.*, 2006).

En el Anexo IV, se incluye un ejemplo ilustrativo de cálculo de la HC para las emisiones del Gas Natural con la Hoja de Cálculo MC3v.2

2.3 Descripción del sistema de trigeneración optimizado

2.3.1 Descripción del sistema

Este trabajo se apoya en los estudios realizados por Carvalho (2011). El sistema de trigeneración optimizado que se describe es una parte de una organización mucho más grande y compleja, un Hospital de tamaño medio, que se analizará con las metodologías descritas anteriormente. No se abarca toda la organización debido a lo extenso y laborioso que ello supondría y que tomando una parte, de la misma podemos evaluar adecuadamente las dos metodologías objeto de este estudio.

La necesidad de reducir los impactos ambientales crecientes asociados a las actividades de la sociedad moderna, requiere que el diseño de plantas considere aspectos medioambientales (Serra et al., 2008), como son el consumo de recursos naturales, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) o, en general, impactos ambientales globales.

Se ha incorporado información ambiental en un modelo de programación lineal entera que incluye emisiones e impactos ambientales globales asociados a la producción de los equipos y a los recursos consumidos durante la operación del sistema.

La información ambiental se ha obtenido al aplicar técnicas de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La resolución del modelo presenta la configuración y operación óptimas del sistema que va a ser instalado, considerando demandas específicas de un centro consumidor (un hospital ubicado en Zaragoza) a partir de una superestructura inicial que contiene un conjunto variado de alternativas razonables posibles.

Las demandas energéticas consideradas para un hospital de tamaño medio ubicado en Zaragoza (500 camas), son calor, refrigeración, y electricidad. La demanda de electricidad es 3250 MWh, la demanda de refrigeración asciende a 1265 MWh, y las necesidades de calor, incluyendo Agua Caliente Sanitaria (ACS) y calefacción son de 8058 MWh (Carvalho, 2011). Es muy importante definir la unidad funcional del estudio, a la que todas las entradas y salidas del sistema tienen como referencia, que es la operación del sistema de trigeneración durante un año (8760 horas).

Se ha considerado también en el análisis el precio de los recursos energéticos, el precio y amortización de los equipos, las opciones de venta de la electricidad autogenerada a la red, y la posibilidad de que el sistema ayude a mitigar el cambio climático (a través de emisiones evitadas). La solución del modelo se ha obtenido evaluando el sistema atendiendo a los criterios de decisión multiobjetivo, buscando un compromiso entre el objetivo económico (minimización del coste anual) y el objetivo ambiental (minimización de cargas ambientales). Más detalles sobre la solución óptima en Carvalho (2011).

La Tabla 5, recoge información sobre la solución óptima considerada, con configuración del sistema y flujos principales.

Tabla 5. Solución multiobjetivo

Elementos del sistema	Número
Motor de gas natural	2
Calderas de agua caliente	4
Intercambiadores de calor	1
Enfriadoras de absorción de simple efecto	1
Enfriadoras mecánicas	3
Torres de refrigeración	3
Gas natural comprado MWh/año	20.370
Electricidad comprada MWh/año	203
Electricidad vendida MWh/año	4070

En el Anexo V, se describe el sistema de trigeneración optimizado, con más detalle.

3 Resultados y comparación

Los elementos del sistema están formados por 2 motores de gas (MGWH), 4 calderas de agua caliente (CGWH), 1 intercambiador de calor (ICWH), 1 máquina de refrigeración por absorción de simple efecto y accionada con agua caliente (FAWR), 3 máquinas de refrigeración mecánica con accionamiento eléctrico y refrigerada con agua (FMWR) y 3 torres de refrigeración para evacuar al ambiente el calor del agua de refrigeración (ICWR). El suministro de energía está formado por 20370 MWh/año de gas natural y 203 MWh/año de electricidad comprada a la red. El sistema vende 4070 MWh/año de electricidad a la red.

3.1 Resultados de la Metodología CML2 baseline 2000

La categoría de impacto seleccionada para realizar los cálculos con el método CML2 baseline 2000 es la denominada *cambio climático*. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados del cálculo mediante el Simapro 7.3, método CML2 baseline 2000 para la categoría de impacto de cambio climático.

Elementos del sistema	Unidades	kg CO ₂ eq por unidad	kg CO ₂ eq totales
Motor de gas	2	84.871	169.742
Calderas de agua caliente	4	3.275,7	13.102,8
Intercambiadores de calor	1	6.226,6	6.226,6
Enfriadora absorción simple efecto	1	30.932	30.932
Enfriadores mecánicos	3	98.493	295.479
Torres de refrigeración	3	37.498	112.494
TOTAL kgCO₂ eq del equipamiento			627.976,4
Suministro energía	MWh/año	kgCO ₂ eq/MWh	kg CO ₂ eq totales
Gas Natural	20370	276,23	5.626.805,1
Mix eléctrico	-3867	415,5	-1.606.738,5
TOTAL kg CO₂ eq suministro energía			4.020.066,6
TOTAL t CO₂ eq del sistema			4.648

Como se muestra en la Tabla 6, los mayores valores en términos de emisiones de CO₂ son los que corresponden al gas natural. Las emisiones de CO₂ asociadas al consumo de gas natural en España ascienden a 276,3 kg CO₂eq por MWh de gas natural consumido. Este valor fue evaluado utilizando la generación de energía y emisiones relativas a la combustión de gas natural en España y el inventario total de sistema para un usuario de gas natural en España. El inventario total incluye exploración, producción, transporte a larga distancia, distribución regional y suministro local.

Las emisiones asociadas de CO₂ al mix eléctrico español considerando las proporciones (25,8 % de térmica de carbón, 24,4% térmica de gas natural y ciclo combinado, 19,7% nuclear, 9,4% hidráulica, 9,4% eólica, 0,09% fuel-gas y 10,4% otros (biomasa, cogeneración, minihidráulica) para producir la electricidad consumida (REE, 2007). El promedio de emisiones asociadas a la electricidad en España en 2007 es considerado 415,5 kg CO₂eq por MWh consumido.

La introducción del concepto de emisiones evitadas a través de la venta de la electricidad producida se estima por el módulo de cogeneración (se utiliza un combustible con menor impacto asociado). Así, las emisiones evitadas se presentan como una diferencia entre el impacto que genera la compra de electricidad a la red. Por ello, la producción de electricidad por el módulo de cogeneración tiene un signo negativo en el balance eléctrico del sistema:

Compra a la red: 203 MWh

Venta a la red: 4070 MWh

Diferencia: 203 MWh - 4070 MWh = - 3867 MWh

Para los demás elementos del sistema, los valores son ya menores y se corresponden con los materiales de los que están hechos los equipos correspondiendo a las manufacturas de las distintas clases de aceros, PVC y otros materiales metálicos.

Para el motor de gas, es el consumo de aceite que utiliza el que aumenta la emisión de CO₂, además de los aceros uno de ellos al Ni, el que más aumenta la emisión de CO₂. En el caso de los enfriadores mecánicos las emisiones son producidas por el consumo de refrigerante, elementos de cobre y plásticos que componen las maquinas. En el caso de las torres de refrigeración las emisiones se

deben a los distintos elementos que componen el acero con el que se fabrican estos elementos (Cr, Ni, Mo, Nb).

Todos estos datos se muestran en los diagramas de árbol para cada elemento del sistema (ver Anexo III).

3.2 Resultados de la Metodología MC3

Para los mismos datos del sistema de trigeneración optimizado, aplicamos el cálculo de las emisiones de CO₂ mediante la metodología MC3, obteniendo los resultados que recogemos en la Tabla 7:

Tabla 7. Resultados del cálculo realizado mediante un programa en Excel de la metodología MC3.

Composición del sistema	tCO2 eq
Gas natural	5.093,8
Mix eléctrico	(-)1972 (emisiones evitadas) ó contrahuella
Equipamiento	805,8
Sub Total	3.927,6
Otras emisiones	21,9
TOTAL	3.949,5

El MC3 está basado en las cuentas que se contabilizan en una organización. Por tanto para calcular la huella de los combustibles de origen fósil, los factores de emisión se obtienen del Inventario Nacional, del IPCC (2007) y de (European Commission 2007). En este caso, se utiliza un factor de emisión del Inventario Nacional cuyo valor es de 0,0560 tCO₂/Gj. También se tiene en cuenta el ciclo de vida del gas, es decir la energía contenida en el combustible final. En este caso el valor del factor de emisión es de 0,0130 tCO₂/GJ, obtenido del European Commission (2007).

Para el cálculo de la huella asociada al consumo eléctrico, se ha desglosado el mix eléctrico según se ha indicado arriba. Se elige el factor de emisión más apropiado para convertir el consumo energético a emisiones de CO₂: el del Inventario Nacional de Emisiones de GEI, 2010. La huella de la energía nuclear es cero para la combustión pero se incluyen las emisiones del ciclo vida de la central (factor de emisión de Öko-Institut Darmstadt, Alemania: Fritsche and Lim, 2006).

La venta de energía eléctrica que generamos, se contabiliza como contrahuella, es decir, son emisiones evitadas.

Para los materiales, como se trata de maquinaria y equipamiento hay que convertir lo que cuesta todo el equipamiento y transporte a GJ. Los datos de este equipamiento se expresan en euros (muy pocas empresas poseen una “contabilidad de los materiales”), por lo que convertimos los euros a toneladas utilizando los Capítulos Arancelarios de Comercio Exterior. La Hoja de Cálculo Excel tiene implementada una matriz con los 99 Capítulos arancelarios, agrupados en 23 grupos según su naturaleza, intensidad energética y materialización (toneladas por cada 1000 euros).

Para el cálculo de las emisiones de los materiales, partimos del coste de los equipos del sistema de trigeneración optimizado que es de 413.195 € (Carvalho, 2011). Como se describe en el Anexo III, el capítulo arancelario es el 84: “reactores nucleares, calderas, máquinas, aparatos y artefactos mecánicos; partes de estas máquinas o aparatos” de la matriz de capítulos arancelarios de la Hoja de cálculo MC3v2. La matriz de intensidades energéticas agrupada para el capítulo arancelario 84, obtenemos el factor de conversión y la intensidad energética media. Valores que llevados a la hoja del cálculo nos dan el valor energético total en Gj/año. Multiplicando ese valor por el factor de emisión obtenemos los valores de emisión de CO₂ para los materiales.

En la Tabla 7, en “Otras emisiones” que aparecen contabilizadas, son debidas a las emisiones que se producen como residuos peligrosos tras su retirada del sistema, del aceite que se consume en motores y al refrigerante utilizado en los enfriadores mecánicos.

3.3 Comparación de los resultados

Los valores que las tablas 6 y 7 nos muestran que para el sistema de trigeneración optimizado, los valores obtenidos son similares. Hacemos el análisis de los mismos comparando las emisiones del gas natural, el mix eléctrico y el equipamiento, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados comparativos de las dos metodologías: CML2 y MC3

	Gas natural t CO ₂ eq	Mix eléctrico t CO ₂ eq	Equipamiento t CO ₂ eq	TOTAL t CO ₂ eq
ACV, método CML2 baseline 2000	5.626,8	(-)1.606,7 *	627,9	4.648
Método Compuesto de las Cuentas Contables, MC3	5.093,8	(-)1.972 *	805,8	3.927,6

* Valores que incluyen las emisiones evitadas (ACV) y la contrahuella (MC3)

Las emisiones debidas al gas natural son algo más bajas en el método MC3, debido a que hemos de tener en cuenta que aquí se valoran las cuentas, es decir, la factura del gas y también los precios de los combustibles fluctúan constantemente; por otro lado, en el método MC3, el cálculo de las emisiones de CO₂ están hechos en base a la densidad del gas y a su poder calorífico inferior. Para el método CML2, se tiene en cuenta la base de datos IDEMAT (2001) y el inventario total de sistema para un usuario de gas natural en España, de la base de datos Ecoinvent (2007). Los datos que se manejan son enormes y además se ha tenido en cuenta el inventario total que incluye exploración, producción, transporte a larga distancia, distribución regional y suministro local, aspectos estos que conceptualmente el MC3 no contempla.

En el caso del mix eléctrico, como generamos energía eléctrica y la vendemos, se contabiliza con signo negativo, indicando que son emisiones evitadas de CO₂ para ambos casos. En la Hoja de Cálculo para el MC3 este concepto se recoge como Contrahuella de carbono. Son mayores en el caso de la metodología MC3, debido al aumento de los precios de la energía y los factores de emisión para cada tecnología de generación eléctrica. Para el método CML2, está calculada dependiendo del consumo ya que tiene una cantidad de emisión fijada por cada MWh consumido (Tabla 6).

En cuanto al equipamiento se obtienen resultados que no difieren excesivamente aunque hay diferencias. El método MC3 se está asignando emisiones en función de lo que cuesta los materiales

(equipos, aceite, refrigerante) en euros, sin embargo en el método CML2 tiene sus emisiones en relación a los materiales de los que están manufacturados los equipos. Por tanto, a la vista de los resultados obtenidos, los valores de intensidad energética utilizados en la metodología MC3 asociados a los equipos, son una buena aproximación para determinar los valores promedio de emisiones de CO₂ asociados a los equipos, puesto que se obtienen valores similares a los obtenidos a partir de las bases de datos empleadas en el ACV.

Se muestran dos metodologías conceptualmente diferentes. La metodología CML2 baseline 2000 que aplica los conceptos clásicos de ACV, ampliamente extendida y utilizada, soportada por un potente software, SimaPro 7.3, complejo de manejar y excesivamente caro para las empresas y organizaciones. La metodología MC3, que ha surgido con fuerza y que conceptualmente se basa en la contabilidad de las empresas y organizaciones, esta soportada por una Hoja de Cálculo, bien implementada por una serie de matrices (combustibles, mix eléctrico, materiales, capítulos arancelarios, etc.), y que a la vista de los resultados obtenidos en su aplicación a un sistema trigeneración optimizado, se muestra como una metodología sencilla conceptualmente, fácil de aplicar y su software (Hoja de Cálculo, es libre).

4 Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha llevado a cabo el cálculo de la HC de un sistema de trigeneración por medio de dos metodologías diferentes. La primera, el CML2 en la categoría de impacto denominada Cambio Climático, es una metodología consolidada. Las causas de su uso extendido son principalmente el apoyo de las instituciones y la fiabilidad de los resultados, basados en numerosas bases de datos. Sin embargo, presenta una desventaja fundamental: su complejidad de uso y necesidad de personal experto. La metodología CML2 baseline 2000 esta soportada por un potente software, SimaPro 7.3, complejo de manejar y excesivamente caro.

En este estudio se ha utilizado una metodología emergente, el MC3, basada en las cuentas contables de las empresas u organizaciones. La metodología MC3 esta soportada por una Hoja de Cálculo Excel, fácilmente manejable y puede obtenerse libremente sin coste alguno. Esto significa un claro avance en la simplificación de su utilización, ya que la contabilidad es una herramienta de uso y concepto convencional en la gestión.

Al aplicar las dos metodologías a un proceso de trigeneración, y a pesar de lo diferentes que son las dos metodologías, se observa a partir de los resultados obtenidos que no hay diferencias significativas. Es decir, el valor las emisiones de CO₂ son satisfactoriamente comparables, dando como resultado 4.648 y 3.927 toneladas de CO₂ equivalente en el método CML2 y MC3 respectivamente.

Viendo que los resultados son similares con respecto al CML2, la metodología MC3, puede ser útil en algunas empresas y organizaciones en las que no se necesita especial preparación para hacer un cálculo de las emisiones de CO₂ y, por tanto, calcular su huella de carbón y hacer la ecoetiqueta de su bien o servicio.

Sin embargo, la metodología MC3 requiere ajustes y bases de datos de huella de carbono para evitar utilizar factores de conversión, lo que hará que se consolide y generalice su implantación en empresas y organizaciones.

Además, serán necesarios estudios similares al que aquí se detalla, aplicado a otros procesos, bienes o servicios, para comparar y consolidar la fiabilidad en el uso del método MC3.

.

5 Bibliografía

AENOR. Norma UNE 150-040: 1996. Análisis del ciclo de vida. Principios generales. AENOR, Madrid. 1996.

Alvarez PD, Doménech JL, Perales JA. (2008). Huella ecológica energética corporativa: Un indicador a la sostenibilidad empresarial. OIDLES, Vol. 1, pp. 1-13.

Carballo A, García-Negro MC, Doménech JL, Villasante C S, Rodriguez G, García M. (2008). A pegada ecoloxica corporativa: concepto e aplicación a duas empresas pesqueiras de Galicia. Revista Galega de Economía, vol. 17, nº 2.

Carballo A, Doménech JL, García-Negro MC. 2009a. "El ecoetiquetado en base a la huella ecológica y del carbono: una herramienta de marketing verde". UAI Sustentabilidad, Año 3 nº 7, Nov/2009, pp. 1-2.

Carballo A, García-Negro MC, Doménech JL, 2009b. "A methodological proposal for the corporate carbon footprint: an application to a wine producer company in Galicia (Spain)". Sustainability Journal. Vol. 1, pp. 302-318.

Carballo A, García-Negro MC, Doménech JL. 2009c. "El MC3 una alternativa metodológica para estimar la huella corporativa del carbono (HCC)". DELOS, Desarrollo Local Sostenible (Grupo eumed.net), Vol. 2, nº 5, junio/2009, pp.1-16.

Carballo A, Doménech JL. 2010. "Managing the carbon footprint of products: the contribution of the method composed of financial statements (MC3)". International Journal of Life Cycle Assessment (en prensa).

Carbon Footprint (2008). What is a carbon footprint?, October 2008. <<http://www.carbonfootprint.com/carbonfootprint.html>> (último acceso, enero, 2011)

Carbon Trust, (2006). Carbon footprints in the supply chain: the next step for business. Report Number CTC618. The Carbon Trust, UK.

Carbon Trust, (2007). Carbon footprint measuring methodology 1.3, October 2008. <<http://www.carbontrust.co.uk>> (último acceso, enero, 2011).

Carvalho M: "Thermoeconomic and environmental analyses in the synthesis of polygeneration systems for the residential-commercial sector". Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Zaragoza, 2011. Disponible en <http://zaguan.unizar.es/record/5744>

Carvalho, M., 2008, "Informe de línea de investigación: Análisis de sistemas simples de trigeneración: Termoeconomía y evaluación ambiental". Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza. España.

Caselles A, Carrasco M, Martínez A, Coll S, Doménech JL, Gonzalez M. (2008). La huella ecológica corporativa de los materiales: aplicación al sector comercial. OIDLES, Vol. 1, pp. 14-23.

Consoli et al. 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice' (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Brussels and Pensacola).

Coto P, Mateo I, Doménech JL, González-Arenales M (2008) La huella ecológica de las autoridades portuarias y los servicios. Oidles 1:1-27 CSC – Base de datos de comercio exterior. Disponible en <http://aduanas.camaras.org/>

Doménech JL. 2004a. "Huella ecológica portuaria y desarrollo sostenible". Puertos. Vol. 114, pp. 26-31.

Doménech JL. 2004a. "La huella ecológica empresarial: el caso del puerto de Gijón". Actas de él VII Congreso Nacional de Medio Ambiente, 22-26 Noviembre, 2004, Madrid.

Doménech JL. 2006a. "Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa". Comunicación presentada en el Tercer Encuentro Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Población, 6-24 de julio de 2006, Universidad de Málaga, Málaga.

Doménech JL. 2006b. "Ahorro energético". En Ecoeficiencia en los Recintos Portuarios. IV Foro Ambiental Portuario. Editado por el Organismo Público Puertos del Estado. Madrid, 30 de noviembre de 2006, pp. 6-11.

Doménech JL. 2007. Huella ecológica y desarrollo sostenible. AENOR Ediciones, Madrid.

Doménech JL, González-Arenales M. 2008. "Huella de carbono corporativa: una herramienta de gestión empresarial contra el cambio climático". Comunicaciones Técnicas del IX Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 9); 1 a 5 de diciembre de 2008. Madrid, 23 pp.

Doménech JL, Carballo A. 2009. "El método compuesto de las cuentas contables (MC3): una alternativa para estimar la huella ecológica de empresas y organizaciones". UAI Sustentabilidad (revista digital). Universidad Abierta Interamericana, Centro de Altos Estudios Globales. Año 3, nº 4; marzo/2009. Buenos Aires, Argentina, 33-53 pp.

Doménech JL, Carballo A, Jimenez L, De La Cruz JL. Estándares 2010 de Huella de Carbono MC3. Comunicaciones Técnicas del X Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 10); 22 al 26 de noviembre de 2010. Madrid, 28pp.

Ecoinvent v2.0 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf, Switzerland, 2007.

EC (European Comission, JRC 2007). What is it and how to measure It? European Platform on LCA. Disponible en http://lca.jrc.ec.europa.eu/Carbon_footprint.pdf

Fritzsche U, Lim SS. 2006. Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective, Öko Institute, Darmstadt, Germany.

Global Footprint Network (GFN), 2007. Footprint term glossary. Global Footprint Network. Global Footprint Network, Oakland. Disponible en <http://www.footprintnetwork.org>

IDEAM. Section for Environmental Product Development, Faculty of Industrial Design, Delft University of Technology. Holanda, 2001. Disponible en <www.idemat.nl>.

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Madrid, 2010.

IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. International Organization for Standardization (ISO), Ginebra, 2006.

ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO), Ginebra, 2006.

Levine M, et al. Residential and commercial buildings. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

Marañón, E., Iregui, G., Doménech, J.L., Fernández-Nava, Y., González Arenales, M., 2008. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vertidos. OIDLES1,1-24.

Perry, S., Klemes, J., Bulatova, I., (2008). "Integrating waste and renewable energy to reduce the carbon footprint of locally integrated energy sectors". Energy 33, 1489-1497.

PRé Consultants. SIMAPRO: Life cycle assessment software, 2008. (<http://www.pre.nl/simapro>).

RD 616/2007, sobre fomento de la cogeneración. Boletín Oficial del estado, 12.05.2007, pp. 20605-20609.

RD 1634/2006, por el que se establece la tarifa eléctrica a partir de 1 de enero de 2007. BOE 312, pp.46656-46672. 2006.

REE. Red Eléctrica de España. El sistema eléctrico español en el 2007. 2007.<http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/infosis/Inf_Sis_Elec_REE_2007_ElSectorElectrico_v2.pdf>

RMITC 7575/2007 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio sobre tarifas de suministro de gas natural. BOE 87. pp. 15600-15601. 2007.

Rogner H.-H, Zhou D, Bradley R, Crabbé P, Edenhofer O, Hare B, et al. Introduction. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

Sánchez S., 2003, "Diseño óptimo de sistemas de trigeneración con motores alternativos de combustión interna para el sector residencial commercial". Mechanical Engineering Department, University of Zaragoza. Spain.

Serra LM, Lozano MA, Ramos J, Ensinas AV, Nebra SA. Polygeneration and efficient use of natural resources. Energy 2009; 34(5):575-586.

Simmons C, González I, Lewis K. 2006. Methodology for determining global sector material consumption, carbon dioxide emissions and Ecological Footprints. WWF, One Planet Business: Review Version 12, 9 th June 2006
(<http://www.bestfootforward.com/OPB/Methodology%20Report%20-%20Review%20v12.PDF>)

Wackernagel, M., Rees, W. Y., (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Philadelphia, USA ,160 pp.

Wackernagel, M., Silverstein, J., (2000). "Big things first: focusing on the scale imperative with the ecological footprint", Ecological Economics, 32, 391-394.

Wiedmann T (2009). "Carbon Footprint and Input-Output Analysis - An Introduction", Economic Systems Research, 21, 175-186.

Wiedmann T, Lenzen M. 2009. "Unravelling the impacts of supply chains. A new Triple-Bottom-Line Accounting Approach". En Schaltegger, S.; Bennett, M.; Burrit; R.; Jasch, C. Environmental Management Accounting for Cleaner Production, Springer Netherlands, Amsterdam, pp. 65-90.