

HUELLA ECOLÓGICA ENERGÉTICA CORPORATIVA: UN INDICADOR DE LA SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL

Pablo David Álvarez Díaz

Área de Tecnologías del Medio Ambiente

Universidad de Cádiz

pablo.alvarez@uca.es

Juan Luis Doménech Quesada

Unidad de Medio Ambiente

Autoridad Portuaria de Gijón

José Antonio Perales Vargas-Machuca

Área de Tecnologías del Medio Ambiente

Universidad de Cádiz

Abstract

The Ecological Footprint is a recent concept which has been widely used as an indicator of environmental sustainability. On its application to enterprises there are several examples such as Corporate Ecological Footprint. In this article, Corporate Energy Ecological Footprint (CEEF) calculation method for the enterprises is proposed. CEEF is calculated in terms of green house gasses emissions based on life-cycle assesment of electricity generation systems and Well-to-Tank analysis of fuels. In the present study the Port of Gijón's (El Musel) EEF has been analysed. The results obtained indicate that the most significant CEEF reduction (93,18%) can be achieved by renewable energy technology selection on the energy resources management. CEEF works out as an important environmental management tool for enterprises.

Keywords. Corporate Ecological Footprint, Energy, Environmental sustainability indicator, Environmental Management.

Resumen

La Huella Ecológica es un concepto reciente que se viene utilizando como indicador de la sostenibilidad ambiental. Existen diversos ejemplos en su aplicación a empresas como la Huella Ecológica Corporativa. En este artículo, se propone una metodología de cálculo de la Huella Ecológica Energética (HEE) de las empresas. La HEE es calculada en términos de gases de efecto invernadero a partir de análisis de ciclo de vida de las tecnologías de producción de electricidad y análisis de la fuente al depósito (Well-to-Tank) de los combustibles. Se ha analizado la HEE del puerto de Gijón (El Musel), los resultados obtenidos indican que la reducción más significativa de HEE (93,18%) se puede alcanzar mediante la selección de tecnologías basadas en energías renovables dentro de la gestión de los recursos energéticos. Se puede considerar la Huella Ecológica Corporativa como una importante herramienta en la gestión ambiental de las empresas.

Palabras clave: Huella Ecológica Corporativa, Energía, Indicador de Sostenibilidad Ambiental, Gestión Ambiental.

1. Introducción

Las políticas energéticas de los países desarrollados basadas en el consumo de recursos no renovables llevan asociadas una larga lista de impactos responsables de la degradación ambiental del planeta.

El Plan de Implementación de Johannesburgo (PIJ), aprobado por todos los gobiernos en la Cumbre Mundial de la Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible de 2002, hace una fuerte llamada al mundo para cambiar los modos insostenibles de consumo y producción.

Uno de los principales problemas a la hora de desarrollar estos acuerdos ha sido el consensuar instrumentos para examinar el cumplimiento de los compromisos de Johannesburgo. Estos instrumentos suelen basarse en indicadores, esto es, medidas en el tiempo de las variables de un sistema que nos dan información sobre las tendencias de éste y sobre aspectos concretos que nos interesa analizar.

Un posible indicador de sostenibilidad podría ser la Huella Ecológica, ésta se define como el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una empresa (Huella Corporativa), población, región, país, etc. Su objetivo fundamental consiste en evaluar el impacto sobre el medio de un determinado modo o forma de producción y/o vida y, por consiguiente su sostenibilidad. (Wackernagel y Rees, 1996).

Este indicador se viene aplicando tradicionalmente al estudio de la sostenibilidad de economías nacionales (WWF/ADENA, 2006), productos (Lewis, 2000; Sibylle, 2006 y Huijbregts, 2008) y recientemente se propone su aplicación a empresas (Doménech, 2007; Wiedmann, 2007)

La correcta gestión de los recursos energéticos constituye un elemento clave para el cumplimiento de los objetivos del PIJ, en este contexto, el tejido empresarial de los países desarrollados juega un papel determinante en la asimilación y puesta en funcionamiento de las medidas surgidas de estas y otras iniciativas políticas internacionales.

En España, el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER), fija como objetivo que el 12,1% del consumo global de energía en 2010 sea abastecido por fuentes renovables, contribuyendo estas en un 30,3% al consumo de electricidad y en un 5,83% al consumo de carburantes para el transporte.

Así pues, la Huella Ecológica Energética Corporativa se plantea como una herramienta para la gestión ambiental de la empresa en lo concerniente a su consumo de recursos energéticos.

La Huella Ecológica (Wackernagel y Rees, 1996) compara la energía consumida por una economía con la energía capaz de ser generada por una superficie bioproductiva considerada.

El cálculo, se basa en la utilización de datos estadísticos de población y consumo de recursos para calcular la media de consumo per cápita. Otra metodología basada en el análisis de flujos de entrada y salida (Input-output analysis) es la utilizada por Wiedmann (2007) realizando cálculos basados en transacciones monetarias de las empresas para el cálculo de su Huella Ecológica. Carballo y Sebastián (2007) utilizan datos estadísticos de la administración regional gallega sobre flujos energéticos para calcular la Huella Energética de la Comunidad Autónoma de Galicia.

Para el cálculo de la Huella Energética Corporativa resulta más conveniente basarse en los datos concretos de consumo de electricidad y combustibles reflejados en la contabilidad de la empresa.

En el presente artículo se presenta una metodología para el cálculo de la Huella Energética basado en la estimación de las emisiones de CO₂ de las diferentes tecnologías de producción de electricidad y quema de combustibles, ponderadas a través de sus factores de emisión específicos extraídos de Análisis de Ciclo de Vida (ACV),

La presente metodología evidencia la subordinación de la Huella Ecológica Energética de las empresas a las estrategias nacionales de generación de electricidad, asimismo contempla la posibilidad de variar la magnitud de la Huella Energética dirigiendo la estrategia energética de la empresa hacia la utilización de fuentes de energía renovables.

2. Metodología

Los procedimientos para estimar la Huella Ecológica Energética Corporativa se basan en la asignación de un factor de emisión de CO₂-equivalente (CO₂-Eq.) a cada tipo de recurso energético consumido.

Dentro del consumo de recursos energéticos, los combustibles de origen fósil (petróleo, gas natural y carbón) suponen el 86.2% de la energía primaria consumida en España en 2006 (Ministerio de Industria, turismo y comercio, 2007). El resto de la energía primaria consumida es de origen nuclear (10%) y renovable (6,8%).

Por lo tanto, la energía primaria consumida por la actividad empresarial está contenida principalmente en los combustibles fósiles. Existen dos vías de consumo de combustibles fósiles, una directa a través de la quema de los mismos en motores de combustión propios a la logística de la empresa y otra indirecta a través del consumo de electricidad, donde los combustibles fósiles han sido previamente transformados en energía eléctrica.

Dentro de este análisis, la metodología propuesta se estructura en dos apartados: La Huella del consumo de combustibles y la Huella del consumo eléctrico.

A cada fuente de energía se le asigna un factor de emisión de CO₂-Eq., la contribución de cada fuente de energía al consumo energético final de la empresa se obtiene de los registros contables de la empresa, de donde se extraen datos acerca de la cantidad y tipo de combustibles consumidos, así como del consumo eléctrico.

Posteriormente, para realizar el cálculo de superficie bioproductiva capaz de asimilar las emisiones resultantes del consumo de recursos energéticos de la empresa, se requieren factores de conversión que nos permitan transformar los valores de masa equivalente de carbono anualmente generada en superficie de un ecosistema concreto. Este factor de conversión no es más que el intercambio neto de CO₂ (Net Ecosystem CO₂ Exchange, NEE) del ecosistema en cuestión.

Existe una gran variabilidad en la magnitud del NEE respondiendo desde a eventos meteorológicos puntuales de escala diaria, como variaciones en la temperatura e intensidad de la energía lumínica (Wofsy et al., 1993 y Goulden et al., 1996), hasta variaciones climatológicas de escala mensual o estacional (Goulden et al., 1996). Por lo tanto resulta extremadamente difícil y arriesgado proponer un NEE concreto como representativo de un ecosistema genérico. Se puede considerar la latitud como una de las principales variables que afectan significativamente al NEE (Valentini et al., 2000) aumentando éste a medida que disminuye la latitud.

En este estudio se utilizará el valor de 1,42 tC/Ha-año propuesto por Wackernagel y Rees (1996) en base a estimaciones del IPCC y utilizado posteriormente por otros autores como Doménech (2007).

Los pasos del procedimiento de cálculo se esquematizan en el siguiente gráfico:

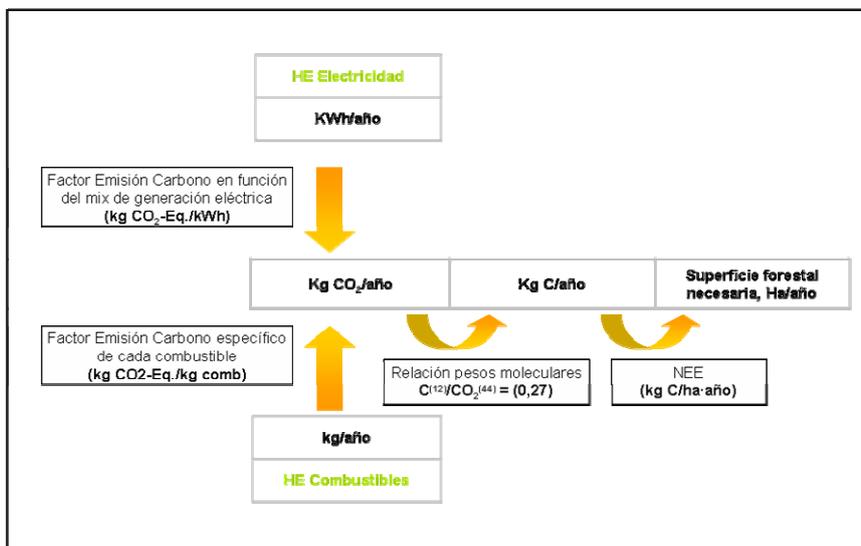


Figura 1. Pasos del procedimiento de cálculo de Huella Ecológica Energética Corporativa

2.1. Huella de la electricidad

2.1.1. Hipótesis de partida: Origen de la energía eléctrica en el sistema español.

La actual estructura del mercado energético nacional (RD 2019/1997) no permite determinar el origen de la electricidad en un punto concreto de consumo pues la reciente liberalización del mercado energético y el actual sistema diario de casación de ofertas de electricidad hace muy difícil seguir el rastro de una unidad de energía, en términos de fuente productiva, a lo largo de la red de distribución eléctrica.

De ahí que la información suministrada por las compañías comercializadoras de electricidad, acerca del origen de su energía, sea de carácter orientativo y resulte cualitativa y cuantitativamente imprecisa para la realización de los cálculos determinantes de la Huella Ecológica Energética Corporativa.

Recientemente, la Comisión Nacional de Energía ha puesto en marcha un sistema de etiquetado de electricidad con objeto de que comercializadores y distribuidores de electricidad suministren información al cliente acerca del origen e impactos ambientales de la electricidad consumida (Comisión Nacional de Energía, 2008).

Hasta que el sistema de etiquetado esté completamente implantado, la metodología propuesta radica en la aplicación del Mix de generación eléctrica nacional (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007) para la determinación de la Huella Ecológica Energética de cualquier empresa que utilice energía eléctrica suministrada por grandes compañías eléctricas. Los últimos datos disponibles sobre la contribución de cada fuente de producción eléctrica se refieren al año 2006. Figura 2.

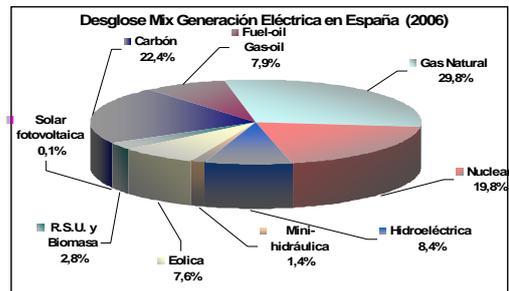


Figura 2. Desglose del mix de generación eléctrica energético nacional en 2006. Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007.

Las emisiones de CO₂-Eq. se estiman aplicando factores de emisión específicos para cada tipo de sistema de generación de electricidad. Estos factores se extraen del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de las diferentes tecnologías de producción, en este tipo análisis se consideran todos los aspectos de un sistema de generación eléctrica, esto es:

- Energía necesaria para la exploración, extracción y procesado de los recursos.
- Extracción de materias primas para la tecnología e infraestructuras.
- Producción de infraestructuras y combustibles.
- Producción y construcción de la tecnología.
- Transporte de combustibles.
- Otras actividades de transporte relacionadas (Ej. durante la fase de construcción o de desmantelamiento)
- Conversiones energéticas en la fase de operación.
- Gestión de residuos e infraestructuras necesarias para la gestión de residuos (Ej. depósitos de residuos radiactivos, eliminación de cenizas).

Los factores de emisión de CO₂-Eq. de las diferentes tecnologías de producción existentes en España se recogen en la tabla 1. Los valores vienen expresados en toneladas de CO₂-Eq./GWh.

Tecnología	Emisiones ciclo de vida (toneladas de CO ₂ -Eq./GWh)	Fuente	% de electricidad consumida en España (2006)
Carbón	1006	White y Kulcinski (2000)	22,36
Fuel oil-Gas oil	742	Hondo (2000)	7,86
Gas Natural	466	Meier (2002)	29,79
Nuclear	17	White y Kulcinski (2000)	19,84
Hidroeléctrica	18	Tokimatsu et al. (2000)	8,36
Mini hidráulica	5	Spadaro et al. (2000)	1,38
Eólica	14	White y Kulcinski (2000)	7,60
R.S.U. y Biomasa	46	Spath y Mann (1997)	2,76
Solar fotovoltaica	39	Meier y Kulcinski (2002)	0,06

Tabla 1. Estudios de ACV utilizados para estimar emisiones de CO₂-Eq. Realizado a partir de Meier et al. (2005).

2.1.2. Revisión de las diferentes fuentes de energía eléctrica en España.

Las tecnologías de producción de electricidad que mayores emisiones llevan asociadas son las relacionadas con la quema de combustibles fósiles, el resto de tecnologías presentan factores de emisión un orden de magnitud menor, estas son las basadas en el aprovechamiento de la energía nuclear y de las energías renovables. Ver tabla 2.

Tipo de Recurso	Tecnología productora	Generación de electricidad	Potencia instalada en España (2006)			Mayor parte de las emisiones en su ciclo de vida
			MW	% Estructura	% Participación	
Fosil	Carbón	En centrales termoeléctricas a partir de la energía calorífica de combustibles fósiles sólidos (antracita, hulla y lignito)	12064	14,6	23,1	
	Fuel-Oil	En centrales termoeléctricas a partir de la energía calorífica de combustibles fósiles líquidos (fuel-oleos)	8321	10,0	7,1	Quema de combustibles en fase de operación
	Gas Natural	En centrales termoeléctricas a partir de la energía calorífica de combustibles fósiles gaseosos (gas natural)	22957	27,7	29,9	
Nuclear	Fisión nuclear	En centrales nucleares a partir de la energía nuclear de uranio enriquecido	7716	9,3	19,8	Fase de enriquecimiento del combustible
Renovables	Eólica	En molinos eólicos a partir del aprovechamiento de la energía mecánica del viento	11611	14,0	7,6	Producción de los molinos y construcción de los parques
	Solar Fotovoltaica	En placas fotovoltaicas a partir de la radiación solar	119	0,1	0,1	Producción de los módulos fotovoltaicos
	Hidroeléctrica	En centrales hidroeléctricas a partir de la energía potencial del agua	18446	22,3	9,8	Construcción de centrales y embalses
	Biomasa y RSU	En centrales termoeléctricas a partir de residuos biológicos	1670	2,0	2,8	Ciclo de vida del combustible
Total			82904	100	100	

Tabla 2.

Revisión de las tecnologías de producción de electricidad en España.
Fuentes: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2007) y Weisser (2007)

2.1.3. Procedimiento de cálculo

El cálculo de las emisiones se realiza multiplicando la cantidad de electricidad consumida en cada fuente de producción por su factor de emisión específico. La contratación de electricidad con una de las grandes comercializadoras que poseen la mayor parte de la cuota de mercado en España (Iberdrola, Endesa, Unión Fenosa y Gas Natural) (98,62% de las cuotas de mercado por consumidores en 2005 (Comisión Nacional de Energía, 2006)) implica la atribución de los porcentajes de contribución de cada fuente de energía eléctrica propios del Mix de generación eléctrica nacional a la empresa objeto de estudio, hasta la puesta en funcionamiento del sistema de etiquetado de electricidad de la Comisión Nacional de Energía.

De cualquier modo, el método permite variar los porcentajes con los que contribuye cada tecnología de producción dentro del el mix de generación de electricidad, las variaciones del mix responden a dos casos:

- Contratación de electricidad con compañía eléctrica que certifique un diferente mix de generación de electricidad.
- Autoproducción eléctrica.

2.2. Combustibles

A continuación se plantea una metodología de cálculo de la Huella Ecológica asociada al consumo de combustibles de la empresa.

Se basa en la cuantificación de las emisiones de CO₂-Eq. asociadas al consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en sus diferentes aplicaciones dentro de la empresa, como son el transporte, la maquinaria y la calefacción.

Los factores de emisión de la Huella Ecológica de los Combustibles se basan en la estimación de las emisiones de CO₂-Eq., utilizando factores de emisión obtenidos a partir de la suma de las emisiones derivadas, por un lado de la obtención del combustible y su transporte hasta los puntos de consumo y, por otro lado, de la combustión de los mismos en diferentes motores.

En España la regulación en materia de combustibles viene determinada por el Real Decreto 61/2006, donde se recogen las especificaciones técnicas para la comercialización de la mayoría de combustibles.

Para realizar los cálculos será necesario contar con los datos de la empresa acerca del consumo de carburantes de los diferentes medios de transporte (Gasolina, Gasóleos, Biocarburantes y Gases Licuados del Petróleo destinados a automoción) estas cantidades se multiplicarán por un factor de emisión predeterminado para cada tipo de combustible y medio de transporte.

Existen 2 alternativas en la utilización de los recursos energéticos destinados al transporte. Utilización de recursos fósiles (gasolinas, gasoil y gas natural de automoción) y recursos renovables (Biodiesel y bioetanol) obtenidos a partir de Biomasa.

2.2.1. Transportes

Carburantes de origen fósil

En España, el transporte consume el 38,2% de la energía final (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007). Hoy en día, la utilización de gasolinas y diesel como carburantes para la automoción satisface todas las necesidades del transporte rodado. En España no está muy difundida la utilización de gases licuados del petróleo (GLP) en aplicaciones de automoción a pesar de sus inferiores emisiones con respecto a los carburantes tradicionales, en 2001 el parque móvil español poseía 4000 vehículos frente a los 1394000 de Italia (AEGLP, 2003).

La metodología utilizada para la determinación del CO₂-Eq. emitido por los medios de transporte rodado de la empresa está integrada por dos tipos de análisis, en el primero, WTT (Well to Tank o de la fuente al depósito), se estiman las emisiones asociadas a todos los pasos en la cadena de producción de carburantes (JRC, 2007). Tabla 3:

Combustible	Ruta considerada WTT
Carbón (Mix Europeo)	<ul style="list-style-type: none"> • Producción y acondicionamiento • Transporte hasta el mercado
Madera / Residuo madera	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo • Transporte rodado
Gasolinas, gasóleos y fuel-óleo	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción y procesado • Transporte marítimo • Refino • Distribución y dispensado
Biodiesel 100% (girasol)	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo girasol • Secado • Transporte a planta • Fabricación • Distribución
Bioetanol 100% (trigo y paja)	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo • Transporte a planta • Fabricación • Distribución
GLP (Propano, Butano y GLP automoción)	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción y procesado • Licuefacción • Transporte marítimo • Distribución • Compresión
Gas Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción y procesado • Transporte (Gasoducto)* • Licuefacción • Transporte marítimo • Regasificación • Distribución • Compresión

* Solo el 30,5 % del gas natural que llega a España lo hace vía gasoducto (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007), el resto lo hace vía transporte marítimo previa licuefacción.

Tabla 3. Rutas consideradas en los análisis WTT de los distintos combustibles

En el segundo análisis se consideran las emisiones de CO₂-Eq. fruto de la oxidación completa del combustible utilizado en base a la cantidad de carbono que contiene (IPCC, 2006), a su vez se computan también las emisiones de N₂O, convertidas en CO₂-Eq. a través de su Potencial de Efecto Invernadero (IPCC, 2006), por tener su génesis a partir del N₂ presente en el aire y depender de las condiciones de combustión. No se incluyen en el cómputo otros gases resultantes de la combustión como SO_x, NO_x, CO y compuestos orgánicos volátiles.

Este procedimiento metodológico evidencia la dependencia directa de las emisiones finales de CO₂-Eq. del consumo directo de carburantes, la empresa tendrá menor Huella Ecológica cuanto menor consumo de carburantes presente.

Tipo combustible	Combustible	Utilización	Metodología estimación emisiones	Factor emisión Kg CO ₂ -Eq./Kg comb		
				WTT	IPCC	Total
Sólidos	Carbón (Antracita)	Calefacción	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,969	2,637	3,606
	Madera / Residuo madera	Calefacción	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,122	1,766	1,888
Líquido	Gasolinas	Transporte	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,554	3,145	3,699
	Gasóleo A (automoción)	Transporte	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,611	3,236	3,847
	Biodiesel 100%	Transporte/Maquinaria	WTT (2007) + IPCC (2006)	1,062	0,053	1,115
	Bioetanol 100%	Transporte/Maquinaria	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,240	0,058	0,298
	Gasóleo B (Agrícola)	Transporte/Maquinaria	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,611	3,553	4,163
	Gasóleo B (Marítimo)	Transporte/Maquinaria	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,611	3,212	3,823
	Fuel óleo Buques	Transporte	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,574	3,151	3,725
	Gasóleo Tren	Transporte	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,611	3,553	4,163
	Gasolina aviación	Transporte	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,554	3,096	3,650
	Gasóleo C (Calefacción)	Transporte	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,611	3,194	3,805
Gas	Propano comercial	Calefacción/Cocina	WTT (2007) + CEPA (2007)	0,377	3,012	3,389
	Butano comercial	Calefacción/Cocina	WTT (2007) + CEPA (2007)	0,373	3,033	3,406
	Gas Natural	Calefacción/Cocina	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,787	2,694	3,481
	GLP automoción	Transporte/Maquinaria	WTT (2007) + IPCC (2006)	0,374	2,987	3,361

Tabla 4. Revisión de las diferentes estimaciones de emisión de CO₂-Eq. asociadas a cada combustible

Biocarburantes o Biocombustibles Líquidos para el Transporte

La utilización de biocombustibles para el transporte implica emisiones de carbono biogénico (previamente fijado por biomasa) y, por lo tanto, a efectos de cómputo en los cálculos de Huella Ecológica las emisiones de CO₂ se considera neutras.

Los biocarburantes se pueden utilizar puros o mezclados con carburantes fósiles, en la metodología de cálculo se han ponderado linealmente los factores de emisión de carbono en función del porcentaje de biocombustible utilizado, de tal manera que si la proporción de biocombustible es del 100% solo consta el factor de emisión de carbono asociado al primer análisis (WTT).

El porcentaje de biocombustible presente en una mezcla de carburantes es conocido, en España la legislación exige que para los porcentajes de mezclas de biocarburantes con derivados del petróleo superiores al 5% sea necesario un etiquetado específico en los puntos de venta (RD 61/2006).

2.2.2. Maquinaria de la empresa

Las emisiones procedentes de maquinaria de la empresa no se computan junto a las del transporte rodado. La maquinaria agrícola, silvícola, industrial y la maquinaria fija presenta motores sustancialmente diferentes a los del transporte, por lo tanto, se hace necesario aplicarles diferentes factores de emisión (IPCC, 2006). Además, este tipo de maquinaria consume Gasóleo B, el cual se diferencia del Gasóleo A desde un punto de vista contable y resulta más simple considerarlo aislado para el cálculo de su Huella Ecológica. Para el caso del Gasóleo B destinado a uso marítimo también se utilizan otros factores de emisión correspondientes a emisiones desde buques.

2.2.3. Calefacción y cocinas

El método para calcular las emisiones debidas al consumo de combustibles destinados a calefacción (Carbón, Madera y Residuos, Biomasa y Gasóleo C) está basado en la metodología del IPCC propuesta para emisiones desde fuentes comerciales e institucionales estacionarias, se procede de manera análoga que en los anteriores apartados, multiplicando las cantidades de combustible consumido por los factores de emisión específicos de utilización del combustible.

2.2.4. Combustibles Gaseosos

Aquí se incluyen las distintas prácticas que impliquen consumo de combustibles gaseosos (Propano, Butano y Gas Natural) como la calefacción de las instalaciones de la empresa o la utilización en cocinas. Los procedimientos de cálculo están también fundamentados en la oxidación total de los hidrocarburos presentes en los gases.

Los factores de emisión del Gas Natural no están recogidos en las guías del IPCC, por lo que se han utilizado los factores de emisión proporcionados por la Agencia de Protección Ambiental del Estado de California (CEPA, 2007). La composición de hidrocarburos típica del butano y propano comercializados en España viene recogida en el RD 61/2006.

3. Resultados

3.1. Cálculo de la Huella Ecológica Energética Corporativa de la Autoridad Portuaria de Gijón

En la aplicación práctica de la metodología propuesta se ha realizado el cálculo de Huella Ecológica Energética al Puerto de Gijón (El Musel), puerto mercante situado en la costa cantábrica y gestionado por la Autoridad Portuaria de Gijón (APG), empresa pública dedicada a la gestión portuaria, gestión del dominio público marítimo-terrestre y gestión de atraques de buques. Ocupa una superficie de 170 hectáreas y en 2006 movió aproximadamente 20.500.000 toneladas de carga, principalmente de graneles sólidos (carbón, dunita, mineral de hierro, cemento, cereales...), graneles líquidos (productos petrolíferos, gases energéticos y productos asfálticos) y mercancía general (siderúrgicos, contenedores...).

El consumo de recursos energéticos de la APG en el año 2006 se recoge en la siguiente tabla:

Consumo de electricidad	5115252 kWh
Consumo de combustibles	
Gas Natural	4004,845 m ³
Gasolina 95	7147,9 L
Gasolina 98	3363,4 L
Gasoil A	32061,5 L
Gasoil B	17275 L
Gasoil C	12965,4 L

Tabla 5. Consumo de recursos energéticos de la APG en 2006.

Como se ha expuesto anteriormente, para la aplicación de la metodología de cálculo de la Huella de la electricidad hemos considerado el mix de generación eléctrica nacional. El cálculo de la Huella Ecológica de la electricidad de la APG se recoge en la siguiente tabla.

Desglose Energético		% contribución	kWh consumidos	Factor de Emisión kg CO ₂ -Eq./kWh	kg CO ₂ -Eq
Fósiles	1) Carbón	22,36	1143780,02	1,006	1150642,70
	2) Fuel oil-Gas oil	7,86	402212,62	0,742	298441,77
	3) Gas Natural	29,79	1523931,63	0,466	710152,14
Nuclear	4) Nuclear	19,84	1014874,15	0,017	17252,86
Renovables	6) Hidroeléctrica	8,36	427531,31	0,018	7695,56
	7) Mini-Hidráulica	1,38	70453,46	0,005	1268,16
	8) Eólica	7,60	388641,81	0,014	5440,99
	9) R.S.U. y Biomasa	2,76	140974,44	0,046	6484,82
	10) Solar fotovoltaica	0,06	2852,57	0,039	111,25
	Total		100	5115252	

Tabla 6. Cálculo de la Huella Ecológica de la electricidad consumida por la APG en 2006.

Utilizando los factores de emisión propuestos para el cálculo de la Huella de los Combustibles, se obtiene:

Combustible	Cantidad (kg)	Factor de Emisión kg CO ₂ -Eq./kg comb	kg CO ₂ -Eq
Gas Natural	2402,91	3,481	8364,69
Gasolina 95	5253,71	3,699	19433,40
Gasolina 98	2472,10	3,699	9144,26
Gasoil A	26931,66	3,847	103602,72
Gasoil B	14511	3,823	55468,70
Gasoil C	10890,94	3,805	41435,53
Total			237449,30

Tabla 7. Cálculo de la Huella Ecológica de los combustibles consumidos por la APG en 2006.

Una vez obtenidas las respectivas cantidades de CO₂-Eq. se procede aplicando la media de absorción de carbono propuesta por Rees y Wackernagel (1996) de 1420 kg C/Ha/año.

	kg CO ₂ -Eq.	kg C	Ha terreno
HE Electricidad	2197490,25	599315,52	422,05
HE Combustibles	237449,30	64758,90	45,60
Total	2434939,55	664074,42	467,66

Tabla 8. Cálculo de la Huella Ecológica Energética Corporativa de la APG para el año 2006.

Por lo tanto, siguiendo la metodología propuesta, la Huella Ecológica Corporativa de la Autoridad Portuaria de Gijón es de 467,66 Ha de superficie forestal equivalente, para hacerse una idea equivaldría aproximadamente a la superficie que ocupan 470 campos de fútbol.

3.2. Supuestos de reducción de Huella Ecológica Energética Corporativa.

A) Contratación de electricidad de origen 100% renovable.

Si la contratación de electricidad se hiciese con una empresa cuyas fuentes de producción eléctricas fueran exclusivamente renovables, la Huella Ecológica se vería ampliamente reducida.

Considerando el mix de producción eléctrica de una supuesta empresa comercializadora de electricidad, cuya generación de electricidad sea 100% renovable, gráfico 2, y aplicando los factores de emisión específicos se obtiene, tabla 9:

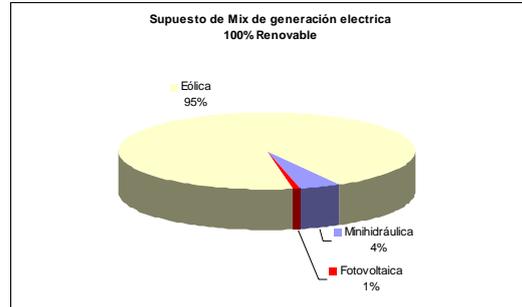


Gráfico 3. Mix de generación de electricidad de supuesta compañía 100% renovable

Desglose Energético		% contribución	kWh consumidos	Factor de Emisión kg CO ₂ -Eq./kWh	kg CO ₂ -Eq
Renovables	1) Eólica	94,73	4845920,28	0,014	67842,88
	2) Mini-hidráulica	4,37	223422,90	0,005	1117,11
	3) Solar fotovoltaica	0,90	45908,82	0,039	1790,44
Total		100	5115252		70750,44

Huella Ecológica de la Electricidad 100% renovable

	kg CO ₂ -Eq.	kg C	Ha terreno
HE Electricidad 100% renovable	70750,44	19295,58	13,59

Tabla 9. Reducción de Huella Ecológica de la electricidad de la APG a través de la contratación de electricidad de origen renovable.

En el caso de contratar el suministro eléctrico a una empresa de este tipo, las emisiones de CO₂-Eq. y por tanto la Huella Ecológica de la Electricidad se vería reducida un 96,78% de la situación actual, lo que implicaría una superficie forestal equivalente de 13,59 Ha, apenas 14 campos de fútbol en comparación con los más de 400 asociadas a la electricidad.

B) Autoproducción del 20% de la electricidad consumida a través de fuentes de energía renovables. 80% eólica y 20% solar.

Otra opción para la reducción de Huella Ecológica Energética es la implantación de sistemas de producción de electricidad en la propia empresa, en este supuesto hemos considerado que la APG ha optado por satisfacer el 20% de su consumo eléctrico (1023050,40 kWh) a través de la implantación de energías renovables, de los cuales un 80% se satisfarán a través de energía eólica y un 20% a través de energía solar fotovoltaica. Para satisfacer el 80% restante de la electricidad consumida (4092201,60 kWh) se utilizará el Mix de generación eléctrico Nacional.

Cálculo de Huella Ecológica de la Electricidad de la APG 80% de Red

Desglose Energético	% contribución	kWh consumidos	Factor de Emisión kg CO ₂ -Eq./kWh	kg CO ₂ -Eq
Fósiles				
1) Carbón	22,36	915024,01	1,006	920514,16
2) Fuel oil-Gas oil	7,86	321770,10	0,742	238753,41
3) Gas Natural	29,79	1219145,30	0,466	568121,71
Nuclear				
4) Nuclear	19,84	811899,32	0,017	13802,29
Renovables				
6) Hidroeléctrica	8,36	342025,05	0,018	6156,45
7) Mini-Hidráulica	1,38	56362,77	0,005	281,81
8) Eólica	7,60	310913,45	0,014	4352,79
9) R.S.U. y Biomasa	2,76	112779,55	0,046	5187,86
10) Solar fotovoltaica	0,06	2282,06	0,039	89
Subtotal 1	100	4092201,6		1757259,48

Cálculo de Huella Ecológica de la Electricidad de la APG 20% de autoproducción

Desglose Energético	% contribución	kWh consumidos	Factor de Emisión kg CO ₂ -Eq./kWh	kg CO ₂ -Eq
Renovables				
1) Eólica	80,00	818440,32	0,014	11458,16
2) Solar fotovoltaica	20,00	204610,08	0,039	7979,79
Subtotal 2	100	1023050,4		19437,96

Huella Ecológica de la Electricidad con autoproducción

	kg CO ₂ -Eq.	kg C	Ha terreno
80% Electricidad de red	1757259,48	479252,59	337,50
20% Autoproducción renovable	19437,96	5301,26	3,73
Total	1776697,44	484553,85	341,24

Tabla 10. Reducción de Huella Ecológica de la electricidad de la APG mediante la autoproducción de energía de origen renovable.

La implantación de fuentes de producción de electricidad de origen renovable en la empresa implicaría una reducción de un 19,15% en la Huella Ecológica de la electricidad que pasaría a tener 341,24 Ha.

C) Supuesto de reducción de Huella Ecológica de los combustibles

En cuanto a la Huella Ecológica de los combustibles, las posibilidades de reducción de la misma pasan por la utilización de biocombustibles, los cuales presentan menores factores de emisión de CO₂-Eq. En la práctica, solo es posible la utilización de biocombustibles en aplicaciones a motores de ciclo Diesel, lo que implica la sustitución del gasóleo convencional por biodiesel puro o B100, tabla 11. La sustitución de gasolinas por bioetanol puro no es posible debido, por un lado, a la necesidad de realizar modificaciones técnicas en los motores y, por otro lado, a la imposibilidad de encontrarlo actualmente en el mercado.

Combustible	Cantidad (kg)	Factor de Emisión kg CO ₂ -Eq./kg comb	kg CO ₂ -Eq
Gas Natural	2402,91	3,481	8364,69
Gasolina 95	5253,71	3,699	19433,40
Gasolina 98	2472,10	3,699	9144,26
Biodiesel 100%	52333,60	1,115	58350,55
Total			95292,9

Huella Ecológica de los combustibles utilizando biocarburantes			
	kg CO ₂ -Eq.	kg C	Ha terreno
HE combustibles y biocarburantes	95292,9	25988,97	18,30

Tabla 11. Reducción de la Huella Ecológica de los combustibles de la APG mediante la utilización de biocarburantes

En este supuesto la Huella Ecológica de los combustibles se ve reducida un 59,87%, implicando una superficie necesaria de en torno a 18 Ha frente a las 45 Ha necesarias sin utilizar biocarburantes.

En la siguiente figura se pueden observar las diferentes combinaciones que llevarían como consecuencia una reducción de Huella Ecológica Energética Corporativa, en el mejor de los casos, a través de una política energética empresarial sostenible se puede llegar a reducir la Huella Ecológica Energética Corporativa un 93,18%, lo que supondría pasar de una superficie equivalente de 467,66 Ha a una de 31,89 Ha para absorber el CO₂ proveniente de las emisiones debidas al consumo de recursos energéticos.

Opciones de reducción de Huella Ecológica Energética

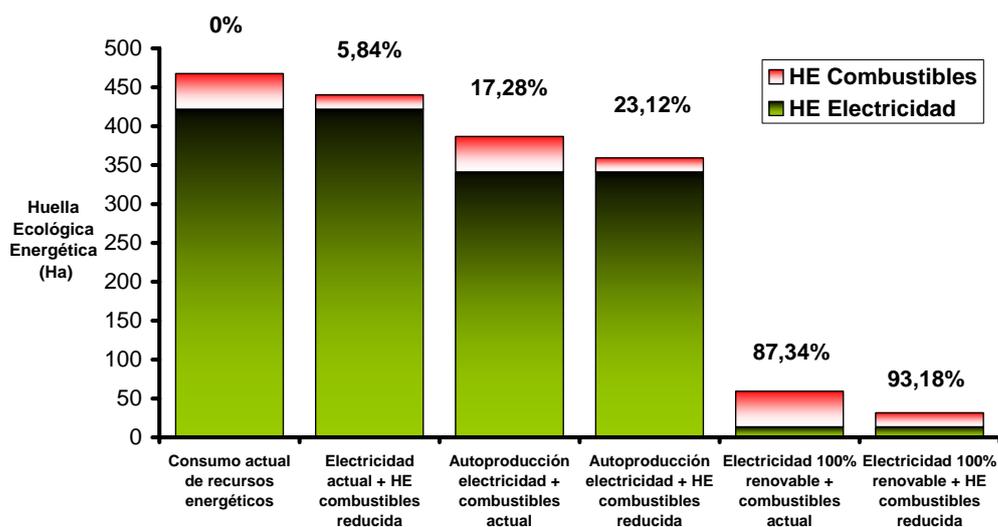


Gráfico 4. Diferentes opciones de reducción de Huella Ecológica Energética Corporativa.

4. Conclusiones

La Huella Ecológica Energética Corporativa permite cuantificar en términos ambientales el consumo de recursos energéticos de la empresa, se configura pues como un indicador de sostenibilidad y como una importante herramienta para la gestión ambiental empresarial, permitiendo no solo evaluar el impacto del modelo energético de la empresa sobre el medio ambiente sino planificar y trazar futuras estrategias para su reducción.

La Huella Ecológica Energética Corporativa se reduce más de un 90% si la empresa decide consumir recursos energéticos procedentes de energías renovables. La implantación de una normativa que conlleve la utilización de la Huella Ecológica Corporativa como indicador de sostenibilidad ambiental empresarial fomentaría el empleo de buenas prácticas ambientales dentro de la empresa, desarrollaría el sector de las energías renovables, dotaría a las empresas de mayor competitividad en un escenario de dependencia de los recursos fósiles y conllevaría una progresiva sostenibilización del tejido empresarial de la sociedad, cumpliendo con los objetivos del PER, protocolo de Kioto y apostando por un ecológico modelo energético de futuro.

La metodología propuesta está basada en la aplicación de ACV en la determinación de las emisiones asociadas al consumo de recursos energéticos a través de índices de emisión, sin embargo, para la correcta aplicación de esta herramienta, en la construcción de los índices de emisión deben considerarse aspectos de importante relevancia ambiental como el nivel de sostenibilidad de la explotación de los recursos forestales o de producción de los Biocarburantes, dada la elevada trascendencia tanto social como ambiental que plantea el despegue de este mercado. Asimismo, en el caso de consumo de energía nuclear también será necesario incluir la gestión de los residuos nucleares generados en su correspondiente apartado en la Huella Ecológica Corporativa

Señalar, por último, que los datos ofrecidos muestran una variante al método original de Huella Ecológica Corporativa (Doménech, 2007) utilizando diferentes fuentes de datos y una forma de conversión más directa. Comparando ambas variantes, se aprecia que los resultados de huella final pueden variar significativamente al variar los factores de emisión y los índices de conversión. Estos factores deben ser convenientemente valorados y considerados a la hora de desarrollar la nueva versión del método general de Huella Ecológica Corporativa, actualmente en elaboración.

Referencias:

- Autoridad Portuaria de Gijón. <http://www.puertogijon.es>
- Carballo Penela, A., Sebastián Villasante, C., 2008. Applying physical input–output tables of energy to estimate the energy ecological footprint (EEF) of Galicia (NW Spain). *Energy Policy* 36 (2008) pg 1148–1163.
- California Environmental Protection Agency (CEPA)., 2007. "Air Resources Board Draft Emission Factors for Mandatory Reporting Program". August 10, 2007. http://www.arb.ca.gov/cc/ccei/reporting/ARB_Draft_EFs.pdf
- Comisión Nacional de Energía., 2006. "El Consumo Eléctrico en el Mercado Peninsular en el Año 2005". pg 34. http://www.cne.es/cne/doc/interes/PA004_06.pdf
- Comisión Nacional de Energía., 2008. Circular 1/2008, de 7 de febrero, de la Comisión Nacional de Energía, de información al consumidor sobre el origen de la electricidad consumida y su impacto sobre el medio ambiente. http://www.cne.es/cne/doc/ae/circular_1_2008.pdf
- Doménech, J.L., 2007. "Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible". AENOR ediciones. Madrid. España.
- European Liquefied Petroleum Gas Association (AEGLP)., 2003. "AUTOMOTIVE LPG, the practical alternative motor fuel". <http://www.ilpga.ie/public/AutomotiveLPGas.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2001. Global ecological zoning for the global forest resources assessment 2000. Final Report. <http://www.fao.org/docrep/006/ad652e/ad652e00.htm>
- Fthenakis, V. M., Kim H. C., 2007. Greenhouse-gas emissions from solar electric and nuclear power: A life-cycle study. *Energy Policy*, Volumen 35, Nº 4, Abril 2007, pg 2549-2557.
- Goulden M. L. et al., 1996. Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: Response to interannual climate variability. *Science* 271 (5255), pg 1576-1578
- Hondo, H., 2000. Finding life cycle CO₂ emissions by power generation type, Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan.
- Huijbregts, M.A.J., Hellwegb S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K., Hendriks, A.J., 2008, Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. *Ecological Economics* 64, pg 798-807.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. "IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007". Working Group I Report "The Physical Science Basis". Chapter 2: "Changes in Atmospheric Constituents in Radiative Forcing". pg 212. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>
- JRC (Joint Research Center). 2007. "Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context". Version 2c, March 2007. <http://ies.jrc.ec.europa.eu/wtw.html>
- Lewis, K., Simmons, C., Chambers, N., 2000. An Ecological Footprint Analysis of Different Packaging Systems. <http://www.bestfootforward.com/downloads/Publications/bottles%20and%20cans.PDF>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético., 2005. "Plan de Energías Renovables 2005-2010". http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Plan_de_Energias_Renovables_en_Espana_completo_49e2ac7d.pdf
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio., 2007. Secretaría General de Energía. "La energía en España 2006". <http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/BEE25AC1-715F-47B8-A71C-1AC701A3A909/0/ENERGIAENESPA%C3%91A2006.pdf>



- Meier, P., 2002. Life-cycle assessment of electricity generation systems and applications for climate change policy analysis. Ph.D. Dissertation, University of Wisconsin, Madison.
- Meier, P., et al., 2005. US electric industry response to carbon constraint: a life-cycle assessment of supply side alternatives. *Energy Policy*, Volume 33, Issue 9, June 2005, pg 1099-1108.
- Meier, P., Kulcinski, G., 2002. Life-cycle energy cost and greenhouse gas emissions for building-integrated photovoltaics, Report 210-1, Energy Center of Wisconsin.
- Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.
- Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.
- Sibylle, D.F., David, J.H., Eric, H.B., 2006. Ecological footprint análisis applied to mobile phones. *Journal of Industrial Ecology* 10, pg 199–216.
- Spadaro, J., V., Langlois, L., Hamilton B., 2000. Greenhouse gas emissions of electricity generation chains. Assessing the difference. *IAEA Bulletin*, 42/2/2000.
- Spath, P., Mann, M., 1997. Life-cycle assessment of a biomass gasification combined cycle power system, Midwest Research Institute, DE-AC-83CH10093.
- Tokimatsu, K., et al., 2000. Evaluation of CO₂ emissions in the life cycle of Tokamak fusion power reactors. *Nuclear Fusion* 40, pg 653–659.
- Valentini, R. et al., 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404, 6780. pg 861-865.
- Wackernagel, M., Rees, W.E., 1996. "Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth". New Society Publishers, Philadelphia.
- Weisser, D. 2007. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply Technologies. *Energy*, Volume 32, N° 9, Septiembre 2007, pg 1543-1559
- White, S., Kulcinski, G., 2000. Birth to death analysis of the energy payback ratio and CO₂ gas emission rates from coal, fission, wind, and DT-fusion electrical power plants. *Fusion Engineering and Design* 48, pg 473–484.
- Wiedmann, T., Barret, J., Lenzen, M., 2007. Companies on the scale: comparing and benchmarking the footprints of businesses. http://www.brass.cf.ac.uk/uploads/Wiedmann_et_al_P36.pdf
- Wofsy, S. C. et al., 1993. Net exchange of CO₂ in a mid-latitude forest. *Science* 260, 1314. pg 2224-2238.
- WWF ADENA., 2002, 2006. Living Planet Report. http://assets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf