



## Hacia un desarrollo económico más sostenible: Cálculo de la huella de carbono en una cadena intermodal de transporte completa

**AUTOR 1:** Ingrid Mateo Mantecón

**Email:** [mateoi@unican.es](mailto:mateoi@unican.es)

**AUTOR 2:** Pedro Casares Hontañón

**Email:** [casaresp@unican.es](mailto:casaresp@unican.es)

**AUTOR 3:** Belén Alvarez Lasarte

**AUTOR 4:** Pablo Coto Millán

**Email:** [cotop@unican.es](mailto:cotop@unican.es)

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Economía

**UNIVERSIDAD:** Universidad de Cantabria

**Área Temática:** 12-Transporte, movilidad e infraestructuras

### Resumen:

Desde la Unión Europea se trata de potenciar un trasvase modal de algunos de los camiones que congestionan las carreteras a otras alternativas modales como los transportes marítimo y ferroviario, señalándose que ese intercambio modal tendría efectos positivos sobre el medio ambiente, y argumentándose que además se podrían paliar ciertas externalidades negativas para la sociedad (congestión, contaminación, accidentes de tráfico...) (TEN/305).

En esta comunicación se van a calcular los costes medioambientales de una cadena intermodal completa (que utilice un tramo de transporte marítimo), y realizar un estudio comparativo para poner de manifiesto de si esos costes, medidos por la huella del carbono (o emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes), son mayores, menores o iguales en el caso de que esa misma ruta se realice mediante una cadena de transporte unimodal, que emplee exclusivamente el transporte por carrera.

Además, se va a explicar la importancia del cálculo de los costes totales asociados al transporte, teniendo especial relevancia, el estudio de la internalización de los costes externos para los distintos modos de transporte. De esta manera, se trata de poner de manifiesto que en la actualidad, *de facto*, la falta de internalización de los costes externos estaría favoreciendo el uso de unos modos de transporte menos eficientes frente a otros que son más eficientes desde el punto de vista del desarrollo económico sostenible.

**Palabras Clave:** *Transporte, economía, sostenibilidad, huella del carbono*

**Clasificación JEL:** L91, Q51, R40

## **Introducción**

Según diferentes estudios el sector transporte genera el 5% del PIB europeo y emplea a diez millones de personas en la UE, pero este desarrollo económico generador de valor y empleo debe ir asociado a un incremento en el desarrollo tecnológico para conseguir un transporte menos nocivo para el medio ambiente. En particular, debe integrar los acuerdos internacionales en materia medioambiental, entre los que se encuentra el Protocolo de Kioto (COM, 2011/114).

Si tenemos en cuenta que el sector del transporte supone el 28% del consumo total de energía de la UE, la consecución de los objetivos contraídos en cuanto a los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> se convierte en un gran reto. Así, los costes medioambientales a los que hace frente la UE son en la actualidad muy elevados, llegando a suponer un 1 % del PIB de la UE anualmente, y existen previsiones de que de seguir la tendencia en las emisiones estos costes se incrementarán hasta el 2% del PIB anual para el año 2050 (COM, 2011/114).

En este trabajo se va a realizar el estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub> al medioambiente de una cadena intermodal completa. Concretamente se realiza el estudio en el que se supone que se transporta un contenedor (TEU) mediante una cadena intermodal, y se comparan las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen si se emplea para transportar ese contenedor una cadena unimodal (carretera).

Suponemos además para el caso de estudio, una cadena intermodal que pertenece a una Autopista del Mar, y que incluye la utilización del transporte marítimo y por carretera; así: se comienza con un tramo de transporte por carretera, paso por el puerto, transporte marítimo hasta el puerto de destino, paso por el puerto de destino, y un último trayecto por carretera hasta el destino final. La cadena intermodal que se plantea es la siguiente:

**TRAMO TERRESTRE VALLADOLID-GIJON**

**PUERTO DE GIJÓN**

**TRAMO MARITIMO GIJÓN- SAINT NAZAIRE**

**PUERTO DE SAINT NAZAIRE**

**TRAMO TERRESTRE SAINT NAZAIRE-NANTES**

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> del paso por el puerto se utiliza la metodología de cálculo de la huella de carbono corporativa (HCC) mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables en su segunda versión MC3\_2.0 (Mateo-Mantecón et al., 2012).

Para el cálculo de las emisiones del transporte marítimo se utiliza una herramienta que ofrece el Port de Barcelona llamada Ecocalculadora. Y para el cálculo de las emisiones del transporte por carretera, para todos y cada uno de los tramos de transporte terrestre, se utilizan dos metodologías, haciéndose la media aritmética de las emisiones que se obtienen con cada metodología para obtener el dato final de emisiones que se producen

en el transporte por carretera. Las metodologías que se utilizan para el transporte por carretera son: la Ecocalculadora del Port de Barcelona, y el Método del Gobierno Francés (que ha desarrollado la metodología para establecer la obligatoriedad para los servicios de transporte de informar de sus emisiones de CO<sub>2</sub>). Adicionalmente para el cálculo de los consumos de un camión tipo se emplean varias metodologías, concretamente las que proporciona la Eurocalculadora del Puerto de Barcelona, ACOTRAM (Asistente para el Cálculo de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera del Ministerio de Fomento, 2014), e Innotransmer<sup>1</sup> (Innotransmer, 2014).

Una vez obtenidos todos los resultados de cálculo se realiza una comparativa y posterior análisis desde el punto de vista de emisiones de CO<sub>2</sub> entre la ruta intermodal, y la ruta que emplea una cadena logística unimodal (empleando exclusivamente el transporte por carretera). Además, se pondrá de manifiesto la importancia que tiene que las empresas internalicen sus costes externos para lograr un reequilibrio modal dentro de la Unión Europea, que permita que aquellos modos de transporte más respetuosos desde el punto de vista ambiental, sean los más utilizados.

## **1. Las Autopistas del Mar como cadenas intermodales más sostenibles**

Desde el punto de vista de la movilidad sostenible, uno de los mejores modos de transporte es el transporte marítimo, cuya integración con las redes de transporte intercontinentales e internacionales es fundamental (Rodríguez, 2012).

Es importante señalar que el transporte marítimo de corta distancia es el que tiene lugar en un ámbito intracontinental. Las autopistas del mar son un tipo de transporte marítimo de corta distancia, pero con la peculiaridad de tener la capacidad de integrar cadenas de transporte competitivas, canalizándose a través de ellas un volumen significativo de tráfico, debiendo además cumplir criterios adicionales de calidad/coste (Rodríguez, 2012).

Si se tiene en cuenta la política europea de transporte el concepto de autopistas del mar aparece por primera vez en el Libro Blanco del Transporte 2001, aunque fue en 2004 cuando las autopistas del mar pasaron a formar parte de la Red Transeuropea de Transporte (RTE-T), como proyecto prioritario número 21 (Decisión 884/2004). Siendo la finalidad de las mismas, el trasvase significativo de carga desde las carreteras congestionadas hacia opciones de transporte marítimo-terrestres con menores costes internos y externos.

La Comisión Europea relaciona los proyectos de las autopistas del mar con tres ejes de actuación: soluciones de transporte intermodal innovadoras, simplificación de los requisitos administrativos y apoyo al modelo de transporte ecológico (Zamora, 2010).

---

<sup>1</sup> Innotransmer es una plataforma de simulación, para el desarrollo de soluciones innovadoras en el transporte de mercancías por carretera de gran capacidad.

Por todo lo anteriormente expuesto, se va a tomar como ejemplo de cadena intermodal una cadena intermodal que incluya una autopista del mar. Concretamente, y teniendo en cuenta que España fue pionera en la implantación de las autopistas del mar con el establecimiento de la primera autopista en la Europa Atlántica uniendo los puertos de Gijón con Nantes-Saint Nazaire (Francia) en 2010; se va a estudiar esta autopista del mar. Señalando además que se espera que la misma absorba entre un 3 y un 5 % del tráfico pesado que atraviesa los pasos occidentales de los Pirineos, sustituyendo al transporte por carretera de unos 40.000 camiones durante el primer año, con el pronóstico de alcanzar los 80.000 en los primeros cinco años (Zamora, 2010).

## **2. La huella del carbono: concepto y metodología**

Una de las herramientas empleadas para poder conocer y medir la sostenibilidad empresarial es la huella del carbono. La huella del carbono se puede definir como “*la demanda de biocapacidad necesaria para secuestrar, mediante fotosíntesis las emisiones de CO<sub>2</sub> que proceden de la utilización de combustibles fósiles*” (GFN, 2007), y (Carballo, 2009). El empleo de este indicador a las empresas comienza el año 2006, aunque en el año 2004 Doménech ya calculaba la HCC pero sin ponerle ese nombre.

Durante la última década se han desarrollado varias metodologías orientadas al cálculo de la huella del carbono. A diferencia de los métodos simples, no se limitan a estimar las emisiones procedentes de actividades concretas, sino que, en la mayoría de los casos, nacen con la vocación de estimar la totalidad, o la mayor parte, de las emisiones de organizaciones a partir de un único método de cálculo.

El logro de un método estándar, capaz de aplicarse globalmente a diferentes tipos de actividades y empresas de diferentes características (tamaño, actividad desarrollada...) es una cuestión de crucial importancia debido a las exigencias del Protocolo de Kyoto y del período post-Kyoto, sobre la que todavía no existe consenso. La existencia de estándares relativos a la información de las emisiones generadas (ISO 14064, Protocolo de Gases de Efecto Invernadero...) no resuelve la falta de estandarización, al no ofrecer directrices relacionadas con el cálculo propiamente dicho. Los estándares de huella del carbono elaborados por Global Footprint Network, tampoco solucionan el problema, al permitir diferentes alternativas metodológicas (Global footprint Network, 2009).

Así, en esta comunicación, se van a emplear distintas metodologías para el cálculo de las emisiones en cada eslabón de la cadena intermodal. Concretamente, para el cálculo de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> en los puertos se va a emplear el método compuesto de las cuentas contables en su versión MC3\_2.0.

Para el cálculo de la huella del carbono del transporte marítimo se utiliza una herramienta que ofrece el Port de Barcelona llamada Ecocalculadora.

Y para el cálculo de las emisiones del transporte por carretera, para todos y cada uno de los tramos de transporte terrestre, se utilizan varias metodologías, haciéndose la media aritmética de las emisiones que se obtienen con cada metodología para obtener el dato final de emisiones que se producen en el transporte por carretera. Las metodologías que se utilizan para el transporte por carretera son: la Ecocalculadora del Port de Barcelona, el Método del Gobierno Francés (que ha desarrollado la metodología para establecer la obligatoriedad para los servicios de transporte de informar de sus emisiones de CO<sub>2</sub>).

## **2.1. Metodología de cálculo de la HC para los puertos: MC3\_2.0**

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la utilización de los Puertos, se va a utilizar el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) en su versión actualizada MC3\_2.0 (Mateo-Mantecón et al., 2012).

El MC3 parte de la matriz de consumos-superficies presente en la hoja de cálculo para la estimación de la huella de los hogares realizada por Wackernagel et al., (2000). Posteriormente Domenech (2004a) elabora una matriz consumos superficies (CLUM) similar a la utilizada por Wackernagel et al., (2000), que contiene el consumo de bienes y servicios de los principales categorías de productos que una compañía precisa, organizados de acuerdo a la clasificación TARIC de capítulos arancelarios. También incluye secciones para los residuos generados y el uso de superficie. Estos consumos/residuos son transformados en unidades de superficie y toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) (Doménech (2007) y Carballo Penela (2009)).

La información necesaria para estimar la HCC empleando el MC3 es obtenida, principalmente, de documentos contables como el balance y a cuenta de pérdidas y ganancias, de modo que quedan perfectamente delimitadas 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. De ahí la denominación "método compuesto de las cuentas contables". La información de otros departamentos de las empresas con datos específicos sobre ciertos apartados (generación de desperdicios, uso de superficie, entre otros...) puede ser necesaria en caso de que no conste en los estados contables. La HCC es calculada en una hoja de cálculo, que al mismo tiempo funciona como la matriz CLUM.

Las filas de la matriz CLUM muestran la huella de cada de categoría de producto/servicio consumido. Las columnas recogen, entre otros elementos, las diferentes categorías de superficie consideradas, de acuerdo a la división realizada en el análisis de huella ecológica (consultar Tabla 1).

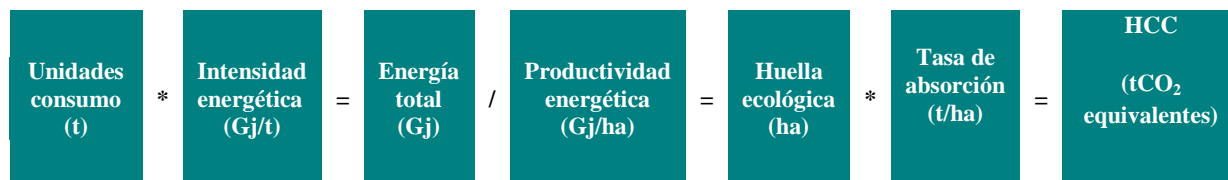
Tabla 1. Estructura de la hoja de cálculo que recoge la matriz consumos-superficie de la HEC

CATEGORÍAS	Consumo anual					Productividad		Huella por tipo de ecosistema, en hectáreas						HUELLA	CONTRA-
	en unidades	en euros sin IVA	en toneladas	Intensidad energética	en gigajulios	natural	energética	energía fósil	tierra cultivable	pastos	bosque	terreno construido	mar	TOTAL	HUELLA
	[ud./año]	[€/año]	[t/año]	[Gj/t]	[Gj/año]	[t/ha/año]	[Gj/ha/año]	[ha*fe]	[ha*fe]	[ha*fe]	[ha*fe]	[ha*fe]	[ha*fe]	[ha * fe]	[ha*fe*fr]
<b>1.-ENERGÍA</b>															
1.1. Electricidad															
1.2. Combustibles															
1.3. Materiales															
1.4. Materiales de construcción															
1.5. Servicios															
1.6. Desechos															
<b>2. USO DEL SUELO</b>															
<b>3. RECURSOS AGROPECUARIOS Y PESQUEROS</b>															
<b>4. RECURSOS FORESTALES</b>															
<b>TOTALES</b>															
HEC Neta															
HCC Neta															

Fuente: Coto-Millán et al., 2010

Adicionalmente durante más de dos años se ha calculado la HEC y HCC de diferentes empresas pertenecientes a distintos tipos de actividades económicas, constatándose así la utilidad del método en su aplicación tanto a pequeñas como a grandes empresas, y comprobando su utilidad para la disposición de información que permita mejorar la gestión medioambiental de las empresas. Siendo el esquema básico de cálculo de la huella del carbono el que se muestra en la figura 1:

Figura 1. Esquema básico de cálculo de la huella del carbono



Fuente: Elaboración propia a partir de Carballo, (2009) y Carballo et al., (2010)

El alcance de la metodología de cálculo de la HCC en su nueva versión, MC3\_2.0, se basa en el análisis del ciclo de vida, y permite calcular las emisiones de las emisiones de alcance 1, 2 y 3. Con MC3\_2.0. (Alvarez et al., 2013). Se ha realizado un esfuerzo notable por la actualización de intensidades energéticas y factores de emisión. Concretamente, esta versión sigue el IPCC (2006) para el cálculo de las emisiones directas. En cuanto a las emisiones de alcance 2, emisiones indirectas (derivadas de compra de energía), se calculan a partir de la Comisión Europea (2010) e IDAE (2011)

para las energías convencionales, y Spadaro et al., (2000), Spath y Mann (2004) y Meier et al., (2005) para las energías alternativas. Para las emisiones de alcance 3, resto de emisiones indirectas, se calculan sobre la base de la asignación de las categorías contables para las 416 categorías de consumo desarrolladas en MC3. El proceso utilizado para analizar cada categoría de consumo se describe por Caglio et al., (2011) (Alvarez et al., 2013).

Figura 2. Emisiones de GEI por tipo de alcance



Fuente: Enfoques metodológicos OSE, 2010

## 2.2. Metodologías para el cálculo de las emisiones producidas por el transporte marítimo

Se va a emplear como método para el cálculo de las emisiones que se producen en el transporte marítimo, el que proporciona la Ecocalculadora del Puerto de Barcelona. La Ecocalculadora es la herramienta concebida para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte de un contenedor desde un puerto (Port de Barcelona, 2014). Este método será empleado para el cálculo de las emisiones del tramo marítimo de la cadena intermodal y también para el transporte por carretera.

La versión web de la Ecocalculadora es una versión simplificada del modelo de cálculo de emisiones desarrollado por la Autoridad Portuaria de Barcelona y Mcrit SL. El modelo de emisiones va unido a un Sistema de Información Geográfica, el SIMPORT, que es el Sistema de Información y Modelización del Hinterland y el Foreland del Port de Barcelona (Port de Barcelona, 2013).

El SIMPORT permite calcular las distancias y tiempos de recorrido para los distintos trayectos posibles entre las zonas del foreland y las regiones de Europa (NUTS3). En base a estas distancias se pueden calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> aplicando unos factores de emisión y unos factores de carga de cada vehículo (Port de Barcelona, 2013).

### 2.2.1. Modo Marítimo

Para el tramo oceánico se supone que el barco usado es siempre un portacontenedores. Si no se dispone del tamaño exacto del barco se aplica un valor promedio que depende de la ruta del trayecto que se analiza (Port de Barcelona, 2013).

La fórmula teórica de cálculo de la potencia de los motores principales para barcos portacontenedores de diferentes dimensiones, se obtiene del documento de cálculo de emisiones marítimas de Trozzi (2010) y es la siguiente:

$$\text{Potencia} = 2,9165 \cdot \text{GT}^{0,8719}$$

donde GT (Gross Tonnage) es el arqueado bruto del buque.

Del mismo documento de Trozzi (2010) se obtiene el valor promedio de velocidad del barco portacontenedores, 36 km/h o 20 nudos, para la que es válida la fórmula anterior.

Por otro lado, el consumo de combustible está relacionado con la energía consumida utilizando la siguiente relación proveniente del documento previamente citado:

$$1\text{kWh} = 217\text{g combustible}$$

donde el consumo se expresa en gramos de combustible por hora.

Con esta equivalencia, la fórmula de cálculo de la potencia, la velocidad de circulación y la longitud del trayecto se obtiene el consumo por unidad de longitud, suponiendo plena potencia de los motores principales.

La fórmula de relación entre contenedores (TEUs) y GT se obtiene a partir de un estudio estadístico realizado con datos de Alphaliner (plataforma de información diseñada para cubrir las necesidades de la industria de buques transatlánticos). Se analizan los 3.296 barcos portacontenedores disponibles, de los que se puede obtener la capacidad en TEU y el peso muerto (con un rango de valores de entre 54 y 15.550 TEUs).

La relación entre GT y número de TEUs se obtiene siguiendo la siguiente ecuación, donde TEU es el máximo número de contenedores que puede transportar el barco:

$$\text{GT} = -0,00016 \cdot \text{TEU}^2 + 13,284 \cdot \text{TEU} + 1696,27$$

La dimensión del barco está expresada en TEUs máximos, mientras que para calcular el consumo (y por tanto el CO<sub>2</sub>) es necesario saber el GT.

El consumo máximo teórico se corrige en primer lugar reduciéndolo a un 87% debido a que en fase de crucero los motores no trabajan al 100%. Además se añade el consumo relativo a las fases de maniobra y hotelling del barco, que según el



documento de ENTEC 2005<sup>2</sup> se corresponde a tener los motores a un 20% de carga durante un 0,33% del tiempo de la ruta para la maniobra y un 2,33% para el hotelling.

Este consumo se divide por cada TEU transportado, suponiendo que el barco va cargado al 80%. El consumo se multiplica por 3,17 para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> (valor medio de contenido de carbono del fuel marítimo, según datos de CORINAIR<sup>3</sup>).

Las emisiones obtenidas se incrementan en un 12% para tener en cuenta el consumo energético necesario para la puesta en sitio del combustible.

### **2.3. Metodologías para el cálculo de las emisiones producidas por el transporte terrestre**

Para determinar las emisiones producidas por el transporte de carretera se van a emplear una serie de metodologías. Explicándose someramente algunas de ellas, y realizándose posteriormente una media aritmética entre los resultados obtenidos.

#### **2.3.1. Ecocalculadora del Puerto de Barcelona**

Para la carretera se utiliza la formulación del modelo COPERT IV (base de la metodología CORINAIR), que consiste en una fórmula que relaciona consumo de combustible con velocidad de circulación, tipo de tecnología, tamaño del camión y nivel de carga. Esto permite obtener el consumo de hasta 84 tipos de vehículos diferentes. Como caso genérico para el análisis donde no se disponga de información concreta del camión usado, se propone usar un camión articulado de 40-50 t, con tecnología EURO IV, ya que este es el vehículo estándar usado en el transporte de contenedores (Port de Barcelona, 2013).

Así, se calculan las emisiones, según el consumo de combustible del vehículo que se elija, multiplicando por 3,14 que es el valor medio de contenido de carbono del gasoil de camión, según datos de CORINAIR (Port de Barcelona, 2013).

El consumo se incrementa para simular el hecho de que los camiones van cargados un 75% de promedio, para tener en cuenta que se realizan viajes en vacío (Port de Barcelona, 2013).

Las emisiones obtenidas también se incrementan en un 12% para tener en cuenta el consumo energético necesario para llevar el combustible hasta el lugar donde se utiliza (Port de Barcelona, 2013).

---

<sup>2</sup> ENTEC UK LIMITED es una consultoría de medioambiente e ingeniería con sede en el Reino Unido, que por encargo de la Dirección General de Medioambiente de la Comisión Europea preparó el informe: *Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments*.

<sup>3</sup> Corinair es un programa para establecer un inventario de emisiones de contaminantes del aire en Europa. Fue iniciado por el Grupo de Trabajo de la Agencia Europea del Medioambiente (European Environment Agency Task Force) y fue parte del programa de trabajo Corine (Coordination of information on the environment) que se estableció en el Consejo Europeo de Ministros en 1985 (European Environment Agency, 2014)

### **2.3.2. Método del Gobierno Francés**

Francia tiene unos objetivos ambiciosos en términos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. En una visión de transición energética, esto también implica promover una economía más eficiente en términos de consumo de energía (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012).

Para alcanzar estos objetivos en Francia, se han establecido un conjunto de disposiciones, especialmente en términos de etiquetado medioambiental y enfoques "eco-amigables".

El transporte de bienes y pasajeros y los servicios de mudanzas están preocupados por esto, con la implementación el 1 de octubre de 2013 del requisito de divulgación de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido durante el servicio de transporte. Las actividades de transporte afectadas por esto son aquellas que salen de o viajan a una ubicación en Francia (este requisito no se aplica a los viajes internacionales que no se detienen en Francia o que simplemente paran para repostar. Sin embargo esto sí aplica a las operaciones de transporte de comercio de cabotaje llevadas a cabo en Francia) (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012). Como nuestra ruta intermodal emplea un Puerto que está en Francia, debemos calcular las emisiones según lo que se señala en la guía publicada por el gobierno francés.

Esta divulgación de información ha sido hecha obligatoria mediante el artículo 228 de la ley de 12 de julio de 2010 en el compromiso nacional de Francia con el medio ambiente y se ha integrado en el código francés de transporte.

Como ya hemos visto, los métodos de cálculo tanto a nivel europeo como a nivel internacional están todos basados en el mismo principio: convertir el consumo de una cantidad de una fuente de energía en dióxido de carbono o dióxido de carbono equivalente (cuando se tiene en cuenta otros gases de efecto invernadero además del CO<sub>2</sub>) mediante el uso de un factor de emisión específico para el elemento consumido.

Con el fin de cubrir todas las emisiones generadas y para poder comparar con distintas fuentes de energía, este valor atribuido a las emisiones generadas debe tener en cuenta cualquier tipo de emisión producida aguas arriba durante su producción. Para combustibles, esto significa integrar las operaciones realizadas para extraer el producto crudo (petróleo), sus operaciones de refinado y cualquier operación de transporte de combustible, en lugar de tener en cuenta sólo el proceso de combustión.

En esta comunicación se va a desarrollar el primero de los casos que se recoge en la guía, que es el de envíos de carga completa. La Guía metodológica (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012) presenta dos posibles métodos para realizar los cálculos: un primer método utilizando los valores de nivel 1 y un segundo método utilizando distancias sin carga y el valor de nivel 1 para la tasa de consumo.

Utilizando valores de nivel 1. En este caso se tiene que utilizar la fórmula que utiliza el llamado Dato agregado. Siendo la fórmula de cálculo la siguiente:

Datos agregados = [índice de consumo de fuente de energía / número de unidades en el medio de transporte] x factor de emisión

Donde tanto la tasa de consumo como el número de unidades son ambas de nivel 1 en este caso.

Así los pasos a seguir son los siguientes:

- 1- El proveedor del servicio obtiene el Dato agregado del nivel 1 correspondiente a la categoría del vehículo usado para el servicio.
- 2- Para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> correspondiente a un servicio de transporte determinado, se necesita conocer además: el número de unidades transportadas por el servicio que está siendo evaluado y la distancia recorrida por estas unidades.
3. Para cada servicio se tiene que aplicar la siguiente fórmula:

CO<sub>2</sub> = datos agregados x número de unidades transportadas por el servicio x distancia

### **3. Cálculo de las emisiones de la cadena intermodal: Aplicación práctica**

En este apartado, una vez conocidos las diferentes metodologías para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> en los diferentes tramos de la cadena intermodal, se van a realizar los cálculos en cada una de las etapas. Se trata de medir las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen al transportar un contenedor con 20 Tm desde Valladolid hasta Nantes, teniendo en cuenta cada una de las etapas. Hay que tener en cuenta:

- Un primer tramo terrestre desde Valladolid a Gijón,
- El paso por el puerto de Gijón,
- El tramo marítimo entre Gijón y Saint Nazaire (Francia),
- El paso por el puerto de Saint Nazaire y
- El tramo terrestre que completa la cadena intermodal entre Saint Nazaire y Nantes.

Y finalmente se sumarán todos los resultados para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a toda la cadena intermodal.

También se va a realizar una comparativa entre rutas, por lo que además de los tramos terrestres inicial y final de la cadena intermodal, se realizará el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el supuesto de que en vez de utilizar una cadena intermodal, se realizara el transporte únicamente por carretera.

#### **3.1 Resultados obtenidos para el puerto de Gijón**

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la Autoridad Portuaria de Gijón se ha utilizado el ya explicado Método Compuesto de las Cuentas Contables, en una segunda versión (MC3 V 2.0) para calcular su Huella del Carbono, y de ahí obtener la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida.

Los datos fueron extraídos del Balance de Sumas y Saldos, del Inmovilizado Material, así como el Detalle del Mayor de las Cuentas del Departamento Financiero. El año para el que se ha realizado el cálculo de la Huella del Carbono es el 2007. En la tabla siguiente se muestra el resumen de los resultados obtenidos en las distintas categorías de consumo de recursos:

Tabla 2: Resultados de la Huella del Carbono de la Autoridad Portuaria de Gijón

	HUELLA DEL CARBONO APG 2007 (Toneladas CO <sub>2</sub> )			
	Bruta [tCO <sub>2</sub> ]	ContraHuella [tCO <sub>2</sub> ]	Neta [tCO <sub>2</sub> ]	%
1.-EMISIONES DIRECTAS	269,86	0,00	269,86	1,08%
2.-EMISIONES INDIRECTAS	5867,15	0,00	5867,15	23,47%
3.- MATERIALES (no orgánicos)	15750,45	0,00	15750,45	63,00%
4.- SERVICIOS Y CONTRATAS	1335,67	0,00	1335,67	5,34%
5. RECURSOS AGRÍCOLAS Y PESQUEROS	144,83	36,02	108,80	0,44%
6. RECURSOS FORESTALES	1008,10	0,00	1008,10	4,03%
7. AGUA	558,44	0,00	558,44	2,23%
8. USO DEL SUELO	1106,98	1052,83	54,16	0,22%
9. RESIDUOS, VERTIDOS Y EMISIONES	49,93	0,00	49,93	0,20%
<b>TOTAL [tCO<sub>2</sub>]</b>	<b>26091,41</b>	<b>1088,85</b>	<b>25002,56</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de la huella del carbono de la APG siguiendo la metodología MC3 V2.0

Como se observa en estos resultados, la Autoridad Portuaria de Gijón produjo unas emisiones brutas de CO<sub>2</sub> en el año 2007 de 26.091,41 toneladas de CO<sub>2</sub>. Además se ha calculado la huella de carbono neta que es la diferencia entre el debe y el haber ambiental, es decir la huella de carbono menos la contra-huella, obteniendo así la huella de carbono neta que corresponde a 25.002,56 toneladas de CO<sub>2</sub>.

A la vista de los resultados de la tabla 2, se observa que los materiales de construcción es la categoría que más emisiones de CO<sub>2</sub> producen, siendo responsables de un 63% de la huella de carbono de la Autoridad Portuaria de Gijón. Otra categoría que aporta un elevado porcentaje de huella son las emisiones indirectas (consumo de electricidad) con una importancia cercana al 24%.

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al paso por el puerto de un contenedor de 20Tm, hay que tener en cuenta la cantidad de toneladas movidas en ese año en el Puerto, y así realizar la equivalencia. De la Memoria Anual del Puerto de Gijón del año 2007 se conoce que se han movido 20.782.127 toneladas.

Por lo tanto, dividiendo las toneladas de CO<sub>2</sub> totales emitidas por la Autoridad portuaria de Gijón en el año 2007 por las toneladas movidas en ese año se obtiene que por cada tonelada de mercancía se emiten 1,203 Kg de CO<sub>2</sub>.

Teniendo en cuenta que el contenedor de referencia transporta 20 Tm, al paso por el puerto del contenedor se le puede asignar la cantidad de 24,06 Kg de CO<sub>2</sub>.

### **EMISIONES DEL PUERTO GIJÓN = 24,06 Kg CO<sub>2</sub>**

Al no haber podido obtener datos del Puerto de Saint Nazaire, suponemos que para transportar ese mismo contenedor las emisiones son similares a las obtenidas para el Puerto de Gijón.

#### **3.2 Resultados obtenidos para el tramo marítimo**

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> en el tramo marítimo desde el Puerto de Gijón al Puerto de Saint Nazaire (Nantes, Francia) se ha utilizado la Ecocalculadora del Puerto de Barcelona, de la cual se ha explicado su metodología en el apartado 2.2.1 de la presente comunicación.

Hay que tener en cuenta que la distancia entre el puerto de Gijón y el de Saint Nazaire es de unos 500 Km y que hay que aplicar un incremento de la longitud en un 13% para simular las condiciones reales de navegación, con lo que la distancia a tener en cuenta en los cálculos es de 565 Km.

En primer lugar se parte de la fórmula:

$$\text{Potencia} = 2,9165 \cdot \text{GT}^{0,8719}$$

Para obtener la potencia, teniendo en cuenta que se ha supuesto un GT de 53.600, que es el que suelen tener los portacontenedores de tamaño medio.

$$\text{Potencia} = 38.745,45\text{kW}$$

El tiempo empleado en la travesía se calcula dividiendo la distancia recorrida por el barco, entre la velocidad a la que viaja un buque portacontenedores, que según la Ecocalculadora tiene un valor promedio de unos 20 nudos (36 Km/h).

$$\text{Tiempo} = 15,7 \text{ horas}$$

Se calcula la energía consumida por el buque, multiplicando la potencia del buque por el tiempo empleado.

$$\text{Energía} = 608.296,5 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

Se calcula así el consumo del combustible utilizando la relación con la energía consumida:

$$1\text{kWh} = 217\text{g combustible}$$

$$\text{Consumo combustible} = 132.000.340,5 \text{ g} = 132,000340 \text{ T CO}_2$$

Una vez conocido el consumo de combustible del buque en el trayecto completo se multiplica por el peso de CO<sub>2</sub> en toneladas que se obtiene al quemar una tonelada de combustible (3,17), por el factor de puesta de combustible en el lugar de utilización (1,12) y así se obtendría el consumo máximo teórico. Este valor hay que corregirlo al 87% (en fase de crucero no trabajan al 100%), y tener en cuenta los consumos de fases de maniobra y “hotelling” del barco. Finalmente se dividirá por el número de TEUS que lleva el buque, suponiendo que va cargado al 80%. Con todo esto el valor obtenido para las toneladas emitidas de CO<sub>2</sub> por TEU es el siguiente:

$$T \text{ CO}_2 = 132,000340 \cdot (0,87 + 0,033 \cdot 0,2 + 0,0233 \cdot 0,2) \cdot 3,17 \cdot 1,12 / (4800 \cdot 0,8) =$$

$$= 0,107553 \text{ T CO}_2 = 107,5 \text{ Kg CO}_2$$

### **EMISIONES DEL TRAMO MARITIMO = 107, 5 Kg CO<sub>2</sub>**

#### **3.3 Resultados obtenidos para los tramos terrestres**

Como ya se ha avanzado, para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> de los tramos terrestres por carretera, se van a utilizar dos metodologías diferentes que luego se compararán: la Ecocalculadora del Puerto de Barcelona y el Método del Gobierno Francés.

##### **3.3.1. Emisiones de los tramos terrestres mediante Ecocalculadora**

Para realizar los cálculos mediante el método de la Ecocalculadora tenemos que tener en cuenta la siguiente fórmula que ya fue explicada en el capítulo anterior:

$$\text{CO}_2 \text{ (T/TEU)} = d \cdot C \cdot f_{\text{carga}} \cdot (3,14 / 2) \cdot f_{\text{combustible}}$$

Donde: d = distancia recorrida por el camión

C = consumo del camión

$$f_{\text{carga}} = 1,25$$

3,14 es el valor medio de contenido de Carbono en el gasoil

$$f_{\text{combustible}} = 1,12$$

Para obtener el consumo del combustible se han utilizado diferentes fuentes para comparar los resultados. Una de ellas es a partir de realizar un ejemplo con la Ecocalculadora y obtener de ahí el dato, otra ha sido de la calculadora de consumos de la página web de Innotransmer (Innotransmer, 2014), que da dos opciones según dos modelos (Copert y EnerTrans) y un tercero de ACOTRAM (ACOTRAM, 2014), que es el programa que ofrece el Ministerio de Fomento para calcular los consumos de diferentes vehículos.

Tabla 3: Consumos de combustible

<b>FUENTE</b>	<b>CONSUMO (Kg /Km)</b>
Ecocalculadora	0,28
ACOTRAM	0,33
Innotransmer modelo Copert	0,24
Innotransmer modelo EnerTrans	0,33

**Fuente:** Elaboración propia

Así, para calcular las emisiones entre los diferentes tramos, se utilizarán las distintas fuentes, para luego hacer una media con todos los resultados.

Los tramos de los que hay que calcular las emisiones en modo terrestre son las siguientes:

- Tramo Valladolid - Gijón
- Tramo Saint Nazaire – Nantes

- Tramo Valladolid – Nantes (Es decir, la cadena de transporte empleando exclusivamente al carretera).

Se aplican los diferentes datos de consumo para los distintos tramos y se presentan los resultados en la siguiente tabla (en Kg CO<sub>2</sub>).

Tabla 4. Distancias y consumos en función de distintas fuentes de información

<b>ECOCAL</b>	<b>Dist.(Km)</b>	<b>Ecocalculadora</b>	<b>ACOTRAM</b>	<b>In. Copert</b>	<b>In. EnerTrans</b>	<b>MEDIA</b>
<b>Valladolid-Gijón</b>	275	169,2	199,5	145,1	199,5	<b>178,3</b>
<b>SaintNazaire-Nantes</b>	62	38,2	45,0	32,7	45,0	<b>40,2</b>
<b>Valladolid-Nantes</b>	916	563,7	664,4	483,2	664,4	<b>593,9</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Emisiones de los Tramos terrestres mediante Método del Gobierno Francés

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando el Método del Gobierno Francés, se utiliza la metodología que se ha explicado en el apartado 2.3.2.

Para ello se va a utilizar la fórmula, y el valor del dato agregado obtenido de la Tabla de Datos Agregados de Nivel 1 que se recoge en el Anexo.

$$\text{CO}_2 = \text{dato agregado} \times \text{número de unidades transportadas por el servicio} \times \text{distancia}$$

Para un camión semi-trailer con un Peso Máximo Autorizado de 40T, de carga general y para larga distancia, el valor del Dato agregado es de 84,0 gCO<sub>2</sub>/T·Km (Anexo).

Se recogen en la tabla los valores para cada tramo:

Tabla 5. Distancias y emisiones empleando el método francés

<b>M. GOBIERNO FRANCÉS</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Emisiones (g/CO<sub>2</sub>)</b>
Valladolid-Gijón	275	462.000
SaintNazaire-Nantes	62	104.160
Valladolid-Nantes	916	1.538.880

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Comparativa entre los resultados de emisiones obtenidos empleando la ecocalculadora y el método gobierno francés (tramos terrestres)

Para poder comparar mejor los resultados de los tramos terrestres de ambos métodos, se han colocado los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 6. Comparativa de las emisiones del transporte por carretera

COMPARATIVA	Kg CO <sub>2</sub> ECOCALCULADORA	Kg CO <sub>2</sub> M. Gobierno Francés
Valladolid-Gijón	178,3	462
SaintNazaire-Nantes	40,2	104,2
Valladolid-Nantes	593,9	1.538,9

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los resultados obtenidos por el método del Gobierno Francés son 2,6 veces los valores resultantes de aplicar el método de la Ecocalculadora del Puerto de Barcelona. Incluso aunque se utilizaran los datos de mayor consumo (Kg combustible/Km) en el caso de la Ecocalculadora, los valores del Método del Gobierno Francés serían 2,3 veces superiores a los resultados obtenidos mediante la Ecocalculadora.

Esto podría ser explicado porque la Ecocalculadora para su cálculo tiene en cuenta que un camión estándar transporta 2 contenedores (TEUs), y el cálculo lo divide por 2 para sacar el dato de emisiones por contenedor, mientras que el método del Gobierno Francés tiene en cuenta directamente la carga en Toneladas que transporta el camión. No obstante se va a tomar la media aritmética de las emisiones obtenidas del empleo de estas dos metodologías.

#### 4. Resultados de las emisiones para la cadena intermodal completa

El principal objetivo de esta comunicación es realizar el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en una cadena intermodal. Para realizar el cálculo total de emisiones de CO<sub>2</sub> en la cadena intermodal completa de transportar un contenedor desde Valladolid hasta Nantes, se han tenido en cuenta dos hipótesis. La primera es que para los tramos terrestres se ha calculado la media de los valores obtenidos con las dos metodologías aplicadas (Ecocalculadora y Método del Gobierno Francés), y la segunda, que el paso por el puerto de Saint Nazaire, del que no hemos calculado su Huella del Carbono, sino que hemos supuesto, por falta de datos, que emite una cantidad de CO<sub>2</sub> similar a la emitida por el Puerto de Gijón.

Así, recopilando todos los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> de la cadena intermodal completa para el transporte del contenedor, se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> de la Cadena intermodal completa

Tramos	Emisiones Kg CO <sub>2</sub>
<b>TRAMO TERRESTRE VALLADOLID-GIJON</b>	320,2 Kg CO <sub>2</sub>
<b>PUERTO DE GIJÓN</b>	24,1 Kg CO <sub>2</sub>
<b>TRAMO MARITIMO GIJÓN- SAINT NAZAIRE</b>	107,5 Kg CO <sub>2</sub>



<b>PUERTO DE SAINT NAZAIRE</b>	24,1 Kg CO <sub>2</sub>
<b>TRAMO TERRESTRE SAINT NAZAIRE-NANTES</b>	72,2 Kg CO <sub>2</sub>
<b>TOTAL EMISIONES CO<sub>2</sub></b>	<b>548,1 Kg CO<sub>2</sub></b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1 Comparativa entre rutas

Otro de los objetivos de este trabajo es realizar una comparativa desde el punto de vista medioambiental (en cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>) de las posibilidades de transporte de un contenedor utilizando dos posibles rutas, como ya se ha comentado anteriormente. La ruta terrestre únicamente por carretera directamente desde Valladolid hasta Nantes, y otra, la utilización de la cadena intermodal que pasa por un tramo terrestre hasta uno de los puertos más cercanos (Gijón), un tramo marítimo entre Gijón y el Puerto de Saint Nazaire, y finalmente el último tramo terrestre hasta el punto de destino, Nantes en Francia.

Los resultados que se obtienen de esta comparación se muestran en la siguiente tabla y se tiene en cuenta para el caso de la ruta terrestre, el valor medio de emisiones de CO<sub>2</sub> de los dos obtenidos con las dos metodologías aplicadas.

Tabla 8. Comparativa entre cadenas intermodal vs unimodal

Ruta	EMISIONES CO <sub>2</sub>
<b>RUTA SÓLO TERRESTRE (Cadena unimodal)</b>	<b>1.363,4 Kg CO<sub>2</sub></b>
<b>CADENA INTERMODAL COMPLETA</b>	<b>548,1 Kg CO<sub>2</sub></b>

Fuente: Elaboración propia

Como se observa de los resultados obtenidos, la cadena intermodal completa es mucho más ecológica que la ruta terrestre unimodal, en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En concreto, es casi 2,5 veces más ecológica, puesto que el CO<sub>2</sub> emitido al transportar el contenedor en varios medios de transporte (incluyendo el transporte marítimo) es casi 2,5 veces menor que en el caso de transportar el contenedor únicamente utilizando el modo de transporte terrestre por carretera. Por lo tanto si se quiere realizar un reequilibrio modal, empleándose modos de transporte más respetuosos con el medio ambiente (medido por las emisiones de CO<sub>2</sub> o huella del carbono), se debe optar por la utilización de cadenas intermodales de transporte que utilicen los Puertos y que consten de un tramo marítimo. Es decir, se debe apostar por las Autopistas del Mar.

## Conclusiones

Dentro de la política de transporte de la UE, se entiende que la internalización de los costes externos forma parte de un «paquete» de iniciativas cuyo objetivo es poder conseguir un transporte más sostenible. Consiste en repercutir los costes externos del transporte (contaminación, ruido, congestión del tráfico, etc.) sobre los usuarios para promover un cambio en su comportamiento (COM (2008) 435 final).

Las medidas van encaminadas a que el usuario de una determinada infraestructura se le repercute el coste social (costes privados y costes externos) por el uso de la misma. De esta manera el usuario es más consciente del coste de utilización de los distintos modos de transporte, pudiendo modificar sus costumbres en términos de elección modal (COM (2008) 435 final).

El principio general propuesto para la internalización de los costes externos del transporte es el de la «tarificación al coste social marginal». Según este enfoque, los precios del transporte deben equivaler al coste adicional que genera a corto plazo un usuario adicional de la infraestructura. Pero la mayor dificultad estriba en el correcto cálculo y la traslación de los costes externos a los usuarios del transporte (COM (2008) 435 final). Aún así, los principales instrumentos económicos para la internalización de los costes externos empleados en la UE son: la fiscalidad, los peajes y los derechos de emisión de CO<sub>2</sub>. Tratando de evitar la tarificación excesiva, así como la aplicación de principios comunes en todos los Estados, para evitar en lo posible las distorsiones en el mercado.

En este contexto, España fue pionera en la implantación de las autopistas del mar con el establecimiento de la primera autopista en la Europa Atlántica uniendo los puertos de Gijón con Nantes-Saint Nazaire (Francia) en 2010; se espera que esta autopista del mar absorba entre un 3 y un 5 % del tráfico pesado que atraviesa los pasos occidentales de los Pirineos, sustituyendo al transporte por carretera de unos 40.000 camiones durante el primer año, con el pronóstico de alcanzar los 80.000 en los primeros cinco años (Zamora, 2010).

A lo largo de esta comunicación se ha podido comprobar cómo se puede calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> de una cadena intermodal de transporte. Se ha hecho hincapié en la importancia de contribuir a la medición de este parámetro, como uno de los indicadores de sostenibilidad ambiental, y se ha proporcionado información sobre diferentes metodologías que se pueden utilizar. En primer lugar se ha considerado el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) como una herramienta muy útil y que se ajusta muy bien a las necesidades del indicador de la Huella del Carbono Corporativa (HCC) y que se ha aplicado a un Puerto como eslabón obligatorio del paso de una mercancía por él, a la hora de realizar un transporte en el que intervenga el modo marítimo.

En cuanto a las otras dos metodologías analizadas para el cálculo de las emisiones que se producen en el transporte marítimo y en los tramos terrestres, hay que realizar algunas consideraciones:

- Señalar que la metodología denominada Ecocalculadora, cuenta con un problema de base, ya que se debe suponer que el tipo de barco que transporta el contenedor es un barco estándar, en el caso del transporte marítimo; y cuál era el consumo del camión, en el caso del transporte terrestre por carretera. Para determinar el consumo de camión se ha recurrido al empleo de distintas fuentes como ACOTRAM, o Innotransmer, para poder realizar un cálculo más ajustado del consumo de la tipología de camión utilizada en la ruta.
- Para el caso del Método del Gobierno Francés, se ha podido ver que la herramienta que ofrecen está descrita con mucho más detalle en la guía metodológica, y sobre todo dándole mucha importancia a las diferentes opciones y posibilidades que hay dentro del transporte por carretera, ofreciendo numerosas tablas con todos los datos necesarios distinguiendo entre los diferentes tipos de vehículos que pueden ser utilizados para transportar mercancías. Además, y dado que la Guía Metodológica del Gobierno Francés se ha editado con la idea de ayudar a transportistas a calcular sus emisiones de CO<sub>2</sub>, estando obligados a comunicar a sus clientes las emisiones de CO<sub>2</sub> que emitan sus servicios de transporte en Francia, al menos en los transportes cuyo punto de origen o destino tenga lugar en dicho país. Esta obligación, relativa a un compromiso nacional con el medio ambiente, se ha introducido en el Código de Transporte francés (artículo L. 1431-3). En un futuro se prevé que estos cálculos sirvan para poder establecer una tasa por las emisiones de CO<sub>2</sub> que produzca cada medio de transporte, es decir, para avanzar en la internalización de los costes externos.

Tal como se ha podido constatar de los resultados obtenidos tras los cálculos realizados, la utilización de una combinación de modos de transporte mediante una cadena intermodal, que cuente con un tramo marítimo, puede reducir considerablemente el aporte de CO<sub>2</sub> que se está realizando a la atmósfera. Se ha visto como el transportar un contenedor por carretera una distancia de casi 1.000 Km, produce unas emisiones cercanas a los 1.400 Kg de CO<sub>2</sub>, mientras que el utilizar una cadena intermodal en la que interviene el transporte marítimo, produce unas emisiones de unos 550 Kg de CO<sub>2</sub>.

En la actualidad, el control de las emisiones de gases de efecto invernadero es una herramienta crucial para medir el impacto ambiental de una organización o una mercancía. Su medición en todos los puntos y agentes logísticos de una red, permitiría planificar la reducción de emisiones en cada uno los miembros, buscando minimizar las emisiones en la totalidad de la red. Pero a pesar de los esfuerzos que se han realizado, no se puede decir que se haya producido la completa internalización de los costes externos, dado que aún persisten ciertas distorsiones en el mercado que han favorecido al modo de transporte por carretera frente al resto de modos, cuando como se ha podido constatar en este trabajo, las emisiones de una cadena intermodal que emplee un tramo marítimo reduce sustancialmente las emisiones que se producen en el transporte (Baird, 2007) (Martinez et al., 2010).

Por último, es necesario señalar que se deben calcular las emisiones del total de las cadenas de producción y transporte, y así poder etiquetar los productos con las emisiones que han sido necesarias desde “la cuna” hasta el momento de entrega del producto al consumidor final. Cada día la legislación avanza más para que las empresas calculen sus emisiones, y a modo de ejemplo, a partir de primavera de 2016, cualquier camión que atravesase Francia deberá reportar las emisiones y se le aplicará una ecotasa en función de éstas. Este es un ejemplo de la necesidad de avanzar en la aplicación de la correcta internalización de los costes externos en el transporte, para poder realizar un reequilibrio modal efectivo hacia modelos de transporte más sostenibles.

## **Bibliografía**

ACOTRAM(2014):<[https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIR\\_ECCIONES\\_GENERALES/TRANSPORTE\\_TERRESTRE/SERVICIOS\\_TRANSPORTISTA/DESCARGA\\_SOFTWARE/Acotram.htm](https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIR_ECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/SERVICIOS_TRANSPORTISTA/DESCARGA_SOFTWARE/Acotram.htm)>.

Alvarez, S., Blanquer, M., Y Rubio, A. (2013): Carbon footprint using the Compound Method based on Financial Accounts. The case of the School of Forestry Engineering, Technical University of Madrid. *Journal of Cleaner Production*. Available online 28 November 2013.

Autoridad portuaria de Gijón (2014): Memoria Anual Año 2007 Puerto de Gijón.<[https://www.puertogijon.es/recursos/doc/Memorias/22649\\_1251252009173548.pdf](https://www.puertogijon.es/recursos/doc/Memorias/22649_1251252009173548.pdf)>.

Baird, A. J. (2007): The economics of Motorways of the Sea, *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, 34:4, pp.287-310.

Cagiao, J., Gómez, B., Doménech, J.L., Mainar, S.G., Lanza, H.G., (2011): Calculation of the corporate carbon footprint of the cement industry by the application of MC3 methodology. *Ecol. Indic.* 11, pp.1526-1540.

Carballo-Penela, A., García-Negro, M.C., y Doménech, J.L. (2010): 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-Penela, A. (2009): *A pegada ecolóxica de bens e servizos: desenvolvemento dun método de cálculo e aplicación ao ciclo de vida do mexillón en conserva en Galicia*. Tesis doctoral, University of Santiago de Compostela.

Carbon Trust (2007): *Carbon footprint measuring methodology 1.3*. The Carbon Trust, London. <[http://rpm-solutions.ca/CSR/CarbonFootprint\\_methodology\\_full.pdf](http://rpm-solutions.ca/CSR/CarbonFootprint_methodology_full.pdf)>

Carbon Trust, (2008): *Product carbon footprinting: the new business opportunity pack*. Report Number CTC74. The Carbon Trust. London.

Carrera, G., Castanedo, J., Coto, P., Doménech, J. L., Inglada, V., y Pesquera, M. A. (2006): The Ecological Footprint of Ports. A sustainability Indicator. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1963, pp.71-75.

COM 2011/114. European Commission (2011): *White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a competitive and resource efficient transport system*. COM 2011 (144) final, Bruselas.

COM(2008): COM (2008) 435 Final. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Estrategia para la aplicación de la internalización de los costes externos. Bruselas.

Doménech, J. L. (2007): *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. 1ª ed. España: AENOR. Madrid, 2007, 400pp.

Doménech, J. L. (2004a): La huella ecológica empresarial: el caso del puerto de Gijón. *VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*. Madrid, 22-26 de noviembre de 2004(CD-ROM).

Doménech, J. L. (2004b): “*Huella ecológica portuaria y desarrollo sostenible. Puertos*”, vol. 114. Pp. 26-31

European Commission, (2010): ILCD Handbook. *General Guide for Life Cycle Assessmentddetailed Guidance*. URL: <http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf> (accessed 20.09.12.).

European Environment Agency (2014): <<http://glossary.eea.europa.eu/>>.

Global Footprint Network (2009): Glosario. <<http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/gfn/page/glossary/>>.

Global Footprint Network (2007): Footprint term glosary. Global Footprint Network, Oakland.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético), (2011): Factores de conversión Energía Final e Energía Primaria and Factores de emisión 2010. <[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file¼/documentos\\_Factores\\_de\\_Conversion\\_Energia\\_y\\_CO2\\_\(2010\)\\_931cce1e.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file¼/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_(2010)_931cce1e.pdf)>.(accessed 02.12.12.).

Innotransmer (2014): <<http://www.innotransmer.es/calculadora-consumo>>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2006): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IGES, Japan.

IPCC (1997): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories reporting Instructions, 1997. <[www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm)>.

Martinez, F., y Castells, M. (2010): Una propuesta de ecobono español. *Estudios de construcción y transportes*, 31 Julio 2010, núm. 112, pp. 1-14.

Mateo-Mantecón, I., Carballo Penela, A., y Doménech Quesada, J.L. (2012): Sostenibilidad Portuaria y Huella del Carbono. *Papeles de Economía Española*, N°. 113, 2012. Monográfico: “La Economía del Transporte marítimo y los Puertos”.

Mateo-Mantecón, I. (2010): *El impacto socio-económico por tipo de mercancía y la huella ecológica en puertos: una aplicación*. Tesis doctoral. Departamento de Economía. Universidad de Cantabria.

Meier, P., Wilson, P., Kulcinski, G., Denholm, P., (2005): US electric industry response to carbon constraint: a life-cycle assessment of supply side alternatives. *Energy Policy* 33, pp.1099-1108.

Ministère de L'écologie, du Développement Durable et de L'énergie, Gobierno Francés (2012): *CO2 information for transport services. Methodological guide*.

OSE (Observatorio de la sostenibilidad en España), (2010): *Enfoques metodológicos para el cálculo de la huella de carbono*. <[http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/\\_Documentos/herramientas.pdf](http://www.sostenibilidad-es.org/sites/default/files/_Documentos/herramientas.pdf)>.

Port de Barcelona, Autoridad Portuaria de Barcelona (2013): *Ecocalculadora del Port de Barcelona*. Puerto de Barcelona. Barcelona.

Port de Barcelona (2014): Servicios. Ecocalculadora <<http://www.portdebarcelona.cat/es/web/port-dels-negocis/ecocalculadora>>.

Rodríguez, A. (2012): El transporte marítimo de corta distancia y las autopistas del mar. *Papeles de Economía Española*, N°. 113. Monográfico: “La Economía del Transporte marítimo y los Puertos”.

Spadaro, V., Langlois, L., Hamilton, B., (2000): Greenhouse gas emissions of electricity generation chains: assessing the difference. *IAEA Bull.* 42.

Spath, P.L., and Mann, M.K., (2004): *Biomass Power and Conventional Fossil Systems with and without CO2 Sequestration e Comparing the Energy Balance, Greenhouse Gas Emissions and Economics Biomass Power and Conventional Fossil Systems with and without CO2 Sequestration*. National Renewable Energy Laboratory

Trozzi C. (2010): Emission estimate methodology for maritime navigation <<http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei19/session10/trozzi.pdf>>.

Wackernagel, M., Dholakia, R., Deumling, D., y Richardson, D. (2000): Redefining Progress, Assess your Household's Ecological Footprint V 2.0. <[http://greatchange.org/ng-footprint-ef\\_household\\_evaluation.xls](http://greatchange.org/ng-footprint-ef_household_evaluation.xls)>.

Wackernagel, M., y Rees, W. (1996): Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth. *New Society Publishers*, Gabriola Island.

Zamora, M. R. (2010): Reflexiones en torno a las autopistas del mar. *Congreso Nacional de Medio Ambiente*, (CONAMA10).

## ANEXO

Tabla de Datos agregados de nivel 1

Description (according to the nature of the vehicle and the type of transport provided indicating the energy source[s] used)	CO <sub>2</sub>
Light-weight commercial vehicle with a GVW of 3,5 tonnes - Express (mail, courier services) - Road diesel	1,889 g CO <sub>2</sub> / t.km
Light-weight commercial vehicle with a GVW of 3,5 tonnes - Express (parcels) - Road diesel	1,068 g CO <sub>2</sub> / t.km
Straight truck with a GVW of 19 tonnes - Express - Road diesel	332 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Parcel delivery - Road diesel	175 g CO <sub>2</sub> / t.km
Straight truck with a GVW of 19 tonnes - Parcel delivery - Road diesel	332 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Parcel delivery (refrigerated) - Road diesel/non-road diesel	178 g CO <sub>2</sub> / t.km
Straight truck with a GVW of 19 tonnes - Parcel delivery (refrigerated) - Road diesel/non-road diesel	302 g CO <sub>2</sub> / t.km
Straight truck with a GVW of 7,5 tonnes - Miscellaneous goods - Road diesel fuel	750 g CO <sub>2</sub> / t.km
Straight truck with a GVW of 12 tonnes - Miscellaneous goods - Road diesel fuel	409 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 26 tonnes - Large volumes - Road diesel	156 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 35 tonnes - Car carrier - Road diesel	189 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Miscellaneous goods/long-distance - Road diesel	84,0 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Miscellaneous goods/regional - Road diesel	83,0 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Large volumes - Road diesel	93,1 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - With refrigerated unit - Road diesel/non-road diesel	98,7 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Public works truck - Road diesel	105 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Grain truck - Road diesel	99,5 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Container truck - Road diesel	91,6 g CO <sub>2</sub> / t.km
Semi-trailer truck with a GCW of 40 tonnes - Tanker- Road diesel	86,7 g CO <sub>2</sub> / t.km
Van with a volume of 8 metres cubed - Home moving - Road diesel	175 g CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> .km
Straight truck with a volume of 45 metres cubed - Home moving - Road diesel	52,5 g CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> .km
Semi-trailer truck with a volume of 90 metres cubed - Home moving - Road diesel	33,3 g CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> .km

**Fuente:** Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012