

Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono en puertos

Versión abril 2025

Documento elaborado con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



Dirección de la guía:

Álvaro Rodríguez Dapena (Puertos del Estado)
Obdulio Serrano Hidalgo (Puertos del Estado)

Ponencia y redacción:

Albert Compte Angela (CETA-CEDEX)
Laura Crespo Garcia (CETA-CEDEX)

Colaboraciones:

Carlos Botana Lagarón (Autoridad Portuaria de Vigo)
Andres Guerra Sierra (Autoridad Portuaria de A Coruña)
Jordi Vila (Autoridad Portuaria de Barcelona)
Monica Gonzalez Arenales (Autoridad Portuaria de Gijón)
Raul Cascajo (Autoridad Portuaria de Valencia)
M^a José Rubio (Autoridad Portuaria de Castellón)
Manuel Arana Burgos (Puertos del Estado)
Ana Lope Carvajal (Puertos del Estado)
Antonio Góngora Zurro (Puertos del Estado)

Rafael Company (VALENCIAPORT)
Elena Seco (ANAVE)
Juan Moreno (Universidad de Cádiz)
Vanessa Durán (Universidad de Cádiz)
Mar Rodriguez (Kaleido Logistics)
Nicolas Troncoso (Kaleido Logistics)
Jesús Merchán (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana)
Guillermo Martinez (Oficina Española de Cambio Climático)
Carlos Alvarez-Cascos García-Mauriño (SBC)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETO Y ALCANCE DE ESTA GUÍA	1
3. EMISIONES DE GEI QUE SE EVALÚAN.....	2
4. EL SISTEMA PORTUARIO DE TITULARIDAD ESTATAL.....	4

PRIMERA PARTE

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA AUTORIDAD PORTUARIA

I.1. BASES DEL CÁLCULO	13
I.1.1. DELIMITACIÓN DE LOS LÍMITES OPERATIVOS OBJETO DE CÁLCULO	13
I.1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI ASOCIADAS A LA AUTORIDAD PORTUARIA	14
I.1.3. MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO.....	14
I.1.4. FACTORES DE EMISIÓN.....	15
I.2. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE ALCANCES 1 Y 2 DE LA AUTORIDAD PORTUARIA	23
I.2.1. EMISIONES DE ALCANCE 1 DE LA AUTORIDAD PORTUARIA.....	23
I.2.2. EMISIONES DE ALCANCE 2 DE LA AUTORIDAD PORTUARIA.....	23
I.3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE ALCANCE 3 ATRIBUIBLES A LA EXPLOTACIÓN DEL PUERTO	24
I.3.1. EMISIONES DE ACTIVIDADES GESTIONADAS POR OTRAS ORGANIZACIONES QUE OPERAN EN EL PUERTO EN RÉGIMEN DE CONTRATACIÓN, CONCESIÓN, AUTORIZACIÓN O LICENCIA.	25
I.3.2. EMISIONES DEL TRÁFICO TERRESTRE DENTRO DEL RECINTO PORTUARIO.....	26
I.3.3. EMISIONES DEL TRÁFICO MARÍTIMO EN EL PUERTO	29
I.3.4. EMISIONES DEL TRÁFICO PESQUERO, DEPORTIVO Y/O DE RECREO	35
I.3.5. CONSIDERACIÓN DE LAS EMISIONES WELL-TO-TANK Y WELL-TO-PLANT.....	36
I.4. CÁLCULO DE OTRAS EMISIONES INDIRECTAS DE GEI ATRIBUIBLES A OBRAS DE AMPLIACIÓN Y MEJORA DEL PUERTO.....	37
I.4.1. EMISIONES ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA OBRA .	37
I.4.2. EMISIONES ASOCIADAS AL TRANSPORTE DE MATERIALES	38
I.4.3. EMISIONES ASOCIADAS AL EMPLEO DE MAQUINARIA Y OTRAS INSTALACIONES AUXILIARES EN EL EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA.....	39
Anejo I.A. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO ATRIBUIBLE A LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS PORTUARIAS	40

SEGUNDA PARTE
CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE CADENAS DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS
QUE PASAN POR UN PUERTO

II.1. BASES DEL CÁLCULO	56
II.1.1. DELIMITACIÓN DE LA CADENA DE TRANSPORTE	56
II.1.2. MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO.....	57
II.2. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES AL TRANSPORTE TERRESTRE EN EL HINTERLAND PORTUARIO	58
II.2.1. DISTANCIA RECORRIDA.....	58
II.2.2. EMISIONES UNITARIAS DEL TRANSPORTE POR CARRETERA	58
II.2.3. EMISIONES UNITARIAS DEL TRANSPORTE FERROVIARIO.....	60
II.3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES AL TRANSPORTE MARÍTIMO	62
II.3.1. DISTANCIA DE NAVEGACIÓN	62
II.3.2. EMISIONES UNITARIAS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO	62
II.4. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES A LA MANIPULACIÓN DE LA MERCANCÍA EN PUNTOS DE TRÁNSITO	69
II.4.1. EMISIONES UNITARIAS ATRIBUIBLES AL PASO PORTUARIO.....	69
II.4.2. EMISIONES UNITARIAS ATRIBUIBLES A OTROS PUNTOS DE TRÁNSITO	69
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	70

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

Esta Guía se ha elaborado bajo la dirección del Ente Público Puertos del Estado, con el apoyo técnico del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la colaboración de un nutrido grupo de expertos del ámbito portuario y marítimo, pertenecientes a Puertos del Estado, Autoridades Portuarias y organizaciones empresariales, empresas privadas y académicos especializados. En el grupo de expertos han estado representados, en particular:

- La Autoridad Portuaria de A Coruña.
- La Autoridad Portuaria de Barcelona.
- La Autoridad Portuaria de Ferrol.
- La Autoridad Portuaria de Gijón.
- La Autoridad Portuaria de Huelva.
- La Autoridad Portuaria de Sevilla.
- La Autoridad Portuaria de Valencia.
- La Autoridad Portuaria de Vigo.
- La Asociación de Navieros Españoles, ANAVE.
- La Oficina Española de Cambio Climático (OECC) del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico.
- La División de Estudios y Tecnología del Transporte del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana.
- La Universidad de Cádiz (UCA).

2. OBJETO Y ALCANCE DE ESTA GUÍA

Esta Guía se plantea con un doble objetivo. En primer lugar, como una herramienta de apoyo a las Autoridades Portuarias que decidan abordar el cálculo de su huella de carbono, esto es, de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo, o indirecto, de su actividad. En segundo lugar, como una herramienta de ayuda al cálculo de las emisiones de GEI asociadas a las cadenas de transporte de mercancías que pasan por un puerto.

La Guía se organiza, por este motivo, en dos Partes diferenciadas. La Primera Parte se circunscribe al cálculo de la huella de carbono atribuible al desarrollo de la actividad de la Autoridad Portuaria, en tanto que *organización*, mientras que la Segunda Parte pretende facilitar el cálculo de GEI emitidos en una cadena de transporte mediante un enfoque de *producto*. En la Primera Parte se han incluido, junto a la metodología de cálculo propuesta, dos ejemplos de aplicación, uno sobre el cálculo de la huella de carbono en el caso del Puerto de Vigo, y otro sobre el cálculo de la huella de carbono atribuible a la construcción de obras portuarias.

La Guía pretende, con ello, ser un estímulo y un apoyo para la implantación de iniciativas encaminadas a que los puertos españoles se constituyan en nodos de cadenas de transporte cada vez más eficientes y sostenibles desde el punto de vista energético y medioambiental. Dichas iniciativas se centran, principalmente sobre las siguientes líneas de actuación:

- *Impulso al desarrollo de líneas regulares RO-RO (Autopistas del Mar)*: Esta línea de actuación tiene por objeto promover, entre las empresas de transporte por carretera, el uso de buques y servicios diseñados para transportar camiones y semirremolques directamente por barco. Esta acción convierte el transporte marítimo en una prolongación de la carretera, logrando que parte del trayecto recorrido

por el camión se haga por barco; con ello se contribuye a reducir las emisiones asociadas a la congestión viaria que tiene lugar, sobre todo, en los pasos fronterizos entre España y Francia.

- *Impulso al transporte ferroviario con origen y destino en puertos:* Esta línea de actuación busca aprovechar la mayor eficiencia ambiental de tráfico ferroviario respecto del viario, posibilitando y promoviendo el empleo del ferrocarril en aquellos flujos de mercancía con origen o destino en puertos que, bien por su concentración en grandes volúmenes, o bien por cubrir grandes distancias con concentración suficiente de carga en puntos de origen/destino, sean apropiados para este esquema de transporte.
- *Mejora de la movilidad de vehículos pesados en el entorno portuaria:* Esta actuación consiste, principalmente, en la construcción de nuevos accesos viarios que unan de modo directo los puertos con redes alta capacidad, así como la mejora de los accesos ya existentes. Ello unido a la optimización del tránsito interno de camiones en los puertos, permitirá evitar el paso de camiones por núcleos urbanos, reduciendo el tiempo de tránsito de vehículos pesados por las ciudades y su entorno, con lo que se consigue una reducción directa de emisiones, así como una reducción indirecta, al prevenir posibles congestiones de tráfico en las ciudades portuarias y sus entornos.
- *Mejora de la eficiencia energética en puerto e impulso al uso de energía renovable:* Esta línea de actuación tiene por objetivo reducir el consumo de energía, y de las emisiones ligadas a su producción, en edificios y servicios prestados por la Autoridad Portuaria, así como en las actividades desarrolladas por las empresas que operan en el puerto; Incentivando, además, posibles iniciativas de generación renovable en aquellos casos en que se den las condiciones de viabilidad apropiadas.
- *Impulso a las energías alternativas en el transporte marítimo:* Esta iniciativa tiene por objeto contribuir a reducir las emisiones ligadas al transporte marítimo, implantando diversas medidas que permitan estimular, tanto la demanda de combustibles alternativos, como, el desarrollo de servicios de oferta de dichos combustibles. Estas medidas quedan detalladas, de modo general, en el Marco de Acción Nacional de Energías Alternativas en el Transporte.

3. EMISIONES DE GEI QUE SE EVALÚAN

A efectos de esta Guía, se entiende por GEI los gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto. Estos gases son siete en la actualidad: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O), los hidrofluorocarburos (HFC), los perfluorocarburos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y, desde el año 2013, el trifluoruro de nitrógeno (NF₃).












El cálculo de las emisiones de GEI suele expresarse en términos de peso equivalente de CO₂, (CO₂eq), teniendo en cuenta los potenciales de calentamiento global de cada gas. El 5º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC ^[1] considera, por ejemplo, que los potenciales de calentamiento global del CH₄ y del N₂O son 28 y 265 veces superiores, respectivamente, que el del CO₂. En el supuesto de considerar despreciables las emisiones de HFC, PFC, SF₆ y NF₃, las emisiones de CO₂eq se calcularían, en este caso, aplicando la expresión siguiente:

$$udCO_2eq = udCO_2 + 25*udCH_4 + 298*udN_2O$$

Las emisiones de GEI pueden estar vinculadas al consumo de energía procedente de diversas fuentes. Entre estas fuentes, destacan los derivados del petróleo y la energía eléctrica. Al sumar o comparar las emisiones de GEI asociadas a fuentes de energía diferentes, es imprescindible hacerlo de forma congruente.

Para ello, en el caso de los combustibles fósiles hay que considerar no sólo las emisiones directas debidas al consumo de combustible desde el depósito del vehículo o equipo correspondiente (denominadas emisiones *tank-to-wheel* en el caso de fuentes móviles), sino además las emisiones indirectas que se producen como consecuencia de la extracción de la materia prima en su yacimiento, del transporte hasta refinería, del refinado y de la posterior distribución desde refinería al punto de suministro (emisiones *well-to-tank*).

En el caso de energía eléctrica, a las emisiones directas del consumo eléctrico (nulas) hay que sumar aquéllas que se derivan de pérdidas energéticas durante su proceso de generación, su transporte y distribución desde la salida de la planta de generación hasta el punto de consumo (emisiones *plant-to-tank*) y, cuando procede, de la extracción de combustibles y su transporte a la planta de generación para convertir la energía primaria en energía eléctrica (emisiones *well-to-plant*).

Emisiones asociadas a los combustibles fósiles en el caso de fuentes móviles					
					
Producción, refino, transporte y distribución				Consumo	
Well-to-tank				Tank-to-wheel	
Well-to-wheel					
Emisiones asociadas a la energía eléctrica en el caso de fuentes móviles					
					
Producción, refino y transporte		Generación		Distribución	Consumo
Well-to-Plant		Plant-to-Wheel			
Whell-to-Wheel					

4 EL SISTEMA PORTUARIO DE TITULARIDAD ESTATAL

4.1 Titularidad y naturaleza

El Sistema Portuario Español de Titularidad Estatal está integrado por 46 Puertos de Interés General, gestionados por 28 Autoridades Portuarias, que son organismos públicos dependientes del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana a través del Organismo Público Puertos del Estado, quien tiene encomendado el control de gestión de dicho sistema, así como la ejecución de la política portuaria del gobierno.

Se entiende que un puerto es de interés general cuando sirve a industrias de importancia estratégica, tiene un volumen de actividad relevante, sirve al comercio internacional o cumple una función esencial para la seguridad del tráfico marítimo.

Las Autoridades Portuarias, a cargo de los puertos de interés general, son organismos públicos empresariales, con personalidad jurídica y patrimonio propios, con plena capacidad de obrar para el desarrollo de sus fines. Desde la vertiente del negocio portuario, generador de actividad económica, las Autoridades Portuarias se ajustan al derecho privado incluso en sus adquisiciones y contratación, salvo en el ejercicio de las funciones de poder público que el ordenamiento legal le atribuye.



Autoridades Portuarias que componen el Sistema Portuario de Interés General

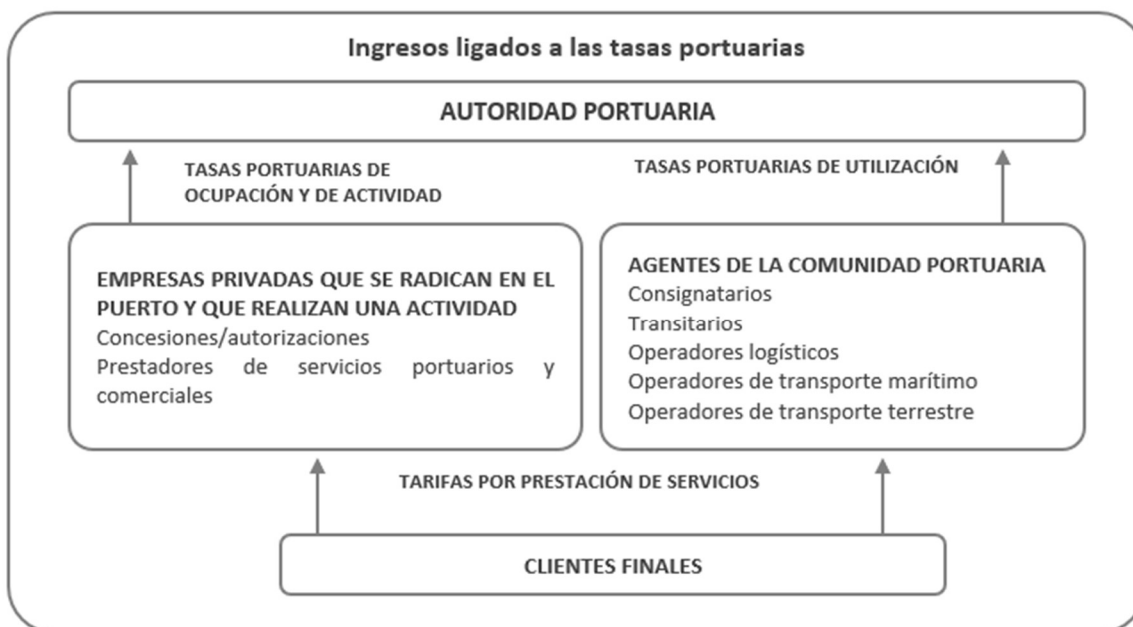
4.2 Esquema de gestión

Los puertos integrados en el sistema portuario de interés general siguen un modelo de gestión conocido como “Land Lord Port” avanzado, o de puerto propietario y líder de la oferta integral. Bajo este modelo las Autoridades Portuarias proveen espacio e infraestructuras portuarias y regulan las operaciones desarrolladas en el puerto, pero no prestan los servicios portuarios o comerciales, tales como los técnico-náuticos (practicaje, remolque y amarre), de manipulación de mercancías o los vinculados al pasaje, entre otros. En general, estos servicios son prestados por operadores privados, con medios técnicos y humanos que no pertenecen a la Autoridad Portuaria.

MODELO LAND-LORD (explotación público-privada)	
Autoridad Portuaria	Gestión administrativa del espacio portuario: habilitación de operadores privados para operar en el puerto.
	Organización de la actividad: ordenación, vigilancia y control de la actividad portuaria
	Infraestructura básica: desarrollo de diques de abrigo, dragados
	Infraestructura complementaria: desarrollo de muelles, atraques, viales, redes de servicio (agua, electricidad, saneamiento)
Iniciativa Privada	Superestructura: equipos de manipulación de mercancías, instalaciones para almacenamiento, lonjas, edificación.
	Servicios portuarios: servicios al buque, manipulación de mercancías, servicios a pasajeros, recepción de desechos de buques
	Servicios comerciales: almacenamiento, suministros, actividades de valor añadido a la mercancía, reparaciones navales

4.3 Financiación

Las Autoridades Portuarias siguen el principio de autosuficiencia económica, por el cual se financian, principalmente, mediante la aplicación de tasas a los distintos usuarios del puerto. A partir de dichos recursos deben ser capaces de hacer frente a sus gastos e inversiones con una rentabilidad mínima exigida por ley, sin necesidad de acudir a los presupuestos generales del Estado.



4.4 Funciones de las Autoridades Portuarias

Los puertos que integran el Sistema Portuario de Titularidad Estatal encaminan más del 85% de las importaciones y más del 60% de las exportaciones del comercio español. Por tanto, se puede afirmar que el principal objetivo de Puertos del Estado y de las Autoridades Portuarias es el de dar soporte al desarrollo de la economía española, haciendo de los puertos nodos de cadenas de transporte intermodales eficientes que operen a escala nacional e internacional.

Para lograr dicho fin, el marco normativo que regula al sistema portuario, atribuye a las Autoridades Portuarias las siguientes funciones y competencias:

- *Proveer infraestructura portuaria:* Planificar, construir, conservar y explotar infraestructura portuaria (aguas abrigadas, canales de acceso, atraques, suelo portuario, etc.).
- *Ordenación del espacio portuario:* Ordenar los usos de la zona de servicio del puerto, planificando y programando su desarrollo de acuerdo con los instrumentos de ordenación y planificación contemplados en la ley.
- *Prestación de servicios:* Prestar los servicios generales, así como gestionar y controlar los servicios portuarios para lograr que se desarrollen en condiciones óptimas de eficiencia económica, productividad y seguridad.
- *Coordinar la actividad portuaria:* ordenar y coordinar el tráfico portuario, tanto marítimo como terrestre, así como coordinar las operaciones de los distintos modos de transporte.
- *Regulación administrativa:* Otorgar concesiones y autorizaciones de uso privativo del dominio público portuario, así como otorgar licencias para la prestación de servicios portuarios y autorizaciones para la prestación de servicios comerciales.
- *Supervisión y control:* Vigilar el cumplimiento de las cláusulas y condiciones impuestos en el otorgamiento de concesiones, autorizaciones, o títulos de prestación de servicios, así como de las condiciones operativas establecidas en las ordenanzas o instrucciones de la Autoridad Portuaria.
- *Intermodalidad:* Promover que las infraestructuras y servicios portuarios respondan a una adecuada Intermodalidad marítimo-terrestre, por medio de una red viaria y ferroviaria, eficiente y segura, conectada adecuadamente con el resto del sistema de transporte y con los nudos logísticos que puedan ser considerados de interés general.
- *Promover la actividad económica:* Mediante el fomento de actividades logísticas, comerciales e industriales que aprovechan la capacidad de los puertos como integradores de cadenas de transporte y de servicios logísticos.
- *Optimizar la gestión económica:* Optimizar la rentabilidad de su patrimonio y recursos, en un marco de eficacia, eficiencia y sostenibilidad ambiental, así como promover e incrementar la participación de la iniciativa privada en la financiación y explotación de infraestructura y equipamiento portuario.

4.5 Gobierno y gestión de las Autoridades Portuarias.

Los órganos de gobierno, gestión y asistencia de las autoridades son los siguientes:

- *Consejo de Administración:* Es un *órgano de gobierno* cuyos vocales son designados a propuesta de la Administración General del Estado, la Comunidad Autónoma, Entidades Locales, Organizaciones Comerciales y Organizaciones Sindicales.
- *Presidencia de la Autoridad Portuaria:* Es un *órgano de gobierno designado por el órgano competente de la Comunidad o Ciudad Autónoma* en la que se encuentra situado el puerto, entre personas de reconocida competencia profesional o idoneidad.
- *Dirección de la Autoridad Portuaria:* Es un *órgano de gestión*, nombrado por mayoría absoluta del Consejo de Administración, a propuesta del Presidente, entre personas con titulación superior, reconocido prestigio profesional y experiencia de, al menos, cinco años en técnicas y gestión portuaria.
- *Consejo de Navegación y Puerto:* Es un *órgano de asistencia e información* de la Capitanía Marítima y del Presidente, cuya constitución y régimen de funcionamiento son determinados por el Consejo de Administración de cada puerto. Con carácter general está constituido por corporaciones públicas o privadas, así como sindicales, cuya actividad esté relacionada con el puerto y que tengan un interés directo y relevante en el buen funcionamiento del puerto y del comercio marítimo.

4.6 Servicios prestados por los puertos.

En los puertos se prestan diversos servicios que, en función de su naturaleza, son desarrollados directamente por la Autoridad Portuaria o por empresas privadas habilitadas por la Autoridad Portuaria para prestarlos. Estos servicios se pueden categorizar en:

- *Servicios generales:* A cargo de la Autoridad Portuaria, estos servicios generales son aquellos de los que se benefician los usuarios del puerto sin necesidad de solicitud y aquellos necesarios para el cumplimiento de las funciones encomendadas a dicha Autoridad Portuaria. En general, la Autoridad Portuaria no presta directamente dichos servicios, sino que los asigna a empresas especializadas mediante contratos específicos.
- *Servicios portuarios y comerciales:* Son denominados servicios portuarios aquellos destinados a hacer posible las operaciones asociadas al tráfico marítimo; mientras que los servicios comerciales son aquellas otras actividades que posibilitan o añaden valor a la actividad logística o de transporte, pero que no son exclusivas del tráfico marítimo. *Ambos tipos de servicios recogen la mayor parte de la actividad desarrollada en el puerto y están prestados, en general, por la iniciativa privada* a través de licencias para la prestación de servicios portuarios, o autorizaciones para el desarrollo de servicios comerciales.

SERVICIOS PRESTADOS EN LOS PUERTOS		
Tipo	Descripción	Titularidad y regulación
Generales	<p>Servicios comunes, así como servicios de coordinación, vigilancia y control, como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ordenación, coordinación y control del tráfico portuario. <input type="checkbox"/> Coordinación y control de otros servicios. <input type="checkbox"/> Señalización, balizamiento y otras ayudas a la navegación. <input type="checkbox"/> Servicio de policía portuaria en zonas comunes. <input type="checkbox"/> Alumbrado de zonas comunes. <input type="checkbox"/> Limpieza de zonas comunes de tierra y de agua. <input type="checkbox"/> Prevención y control de emergencias. 	<p>Titularidad: La Autoridad Portuaria presta de forma directa estos servicios, aunque puede subcontratar determinadas operaciones.</p> <p>Regulación: la Ley de Puertos del Estado y de contratos del Estado.</p>
Portuarios	<p>Actividades dirigidas a hacer posible la realización de las operaciones asociadas con el tráfico marítimo. Son servicios portuarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Servicios prestados al buque (practicaje, remolque, amarre y desamarre). <input type="checkbox"/> Servicios prestados al pasaje (embarque y desembarque de pasajeros, carga y descarga de equipajes y de vehículos en régimen de pasaje). <input type="checkbox"/> Servicios de recepción de desechos generados por buques. <input type="checkbox"/> Servicios de manipulación de mercancías prestados a la carga (carga, estiba, descarga, desestiba, tránsito marítimo y transbordo de mercancías). 	<p>Titularidad: <i>Entidades privadas.</i> La Autoridad Portuaria no los explota, pero asegura su adecuada cobertura.</p> <p>Regulación: Licencia otorgada por la Autoridad Portuaria con arreglo a las condiciones establecidas en "<i>pliegos de prescripciones para la prestación de servicios portuarios</i>".</p>
Comerciales	<p>Actividades de naturaleza comercial vinculadas a la actividad portuaria, como, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Suministro de combustible a buques y otros suministros. <input type="checkbox"/> Astilleros e instalaciones de reparación naval. <input type="checkbox"/> Servicios asociados a la pesca (lonja, fábrica de hielo...). <input type="checkbox"/> Servicios a embarcaciones náutico-deportivas. <input type="checkbox"/> Almacenamiento y distribución de mercancía. <input type="checkbox"/> Suministro de agua y energía a concesiones. 	<p>Titularidad: <i>Entidades privadas.</i></p> <p>Regulación: Autorización otorgada por la Autoridad portuaria con arreglo a las "Condiciones particulares" para la prestación de servicios comerciales.</p>

4.7 Ocupación y utilización dominio público portuario por parte de empresas privadas.

Algunas actividades, como la de Servicio Portuario de Manipulación de Mercancías, suelen desarrollarse en muelles de uso común a través de una autorización temporal para la ocupación de este. No obstante, y de modo general, si la actividad desarrollada por una empresa portuaria requiere de la ocupación prolongada del suelo portuario, entonces será necesario que opte a una autorización o concesión de dicho espacio, otorgada por la Autoridad Portuaria. Dichas figuras administrativas habilitan a las empresas a hacer un uso privativo del dominio público portuario por un periodo prolongado de tiempo.

FORMULAS DE OCUPACIÓN DEL SUELO			
Tipo de ocupación	Regulación	Equipamiento	Descripción
Zonas de uso común. Uso temporal	Autorizaciones y Licencia de prestador de servicios portuarios	Equipos móviles almacenamiento temporal.	Ocupación temporal de maquinaria y mercancía de zonas de tránsito y maniobra (generalmente zonas de uso común en primera y segunda línea de muelle)
Zonas de uso privativo. Uso prolongado	Autorización de uso privativo	Equipos móviles e instalaciones desmontables.	La empresa ocupa el dominio público portuario de modo privativo con bienes muebles o instalaciones desmontables o sin ellos, por un plazo no superior a tres años.
	Concesión demanial	Equipos especializados instalaciones fijas	La empresa construye o explota instalaciones no desmontables por un plazo entre 3 a 35 años
	Concesión de obra pública	Equipos especializados instalaciones fijas	La empresa realiza la construcción y explotación de un nuevo puerto o de una parte del puerto que permite una explotación independiente.

4.8 Organización espacial del puerto.

La mayoría de las competencias y funciones de las Autoridades Portuarias se localizan en la zona de servicio de los puertos¹. La zona de servicio de los puertos, incluyen los espacios de tierra y de agua necesarios para el desarrollo de los usos portuarios, aquéllos que puedan destinarse a usos vinculados a la interacción puerto-ciudad, y los espacios de reserva que garantizan la posibilidad de desarrollo de la actividad portuaria.

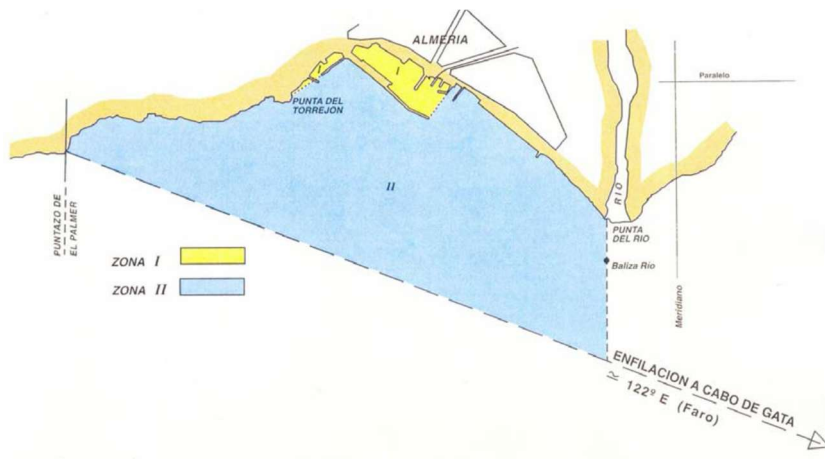


Figura I.1 - Espacio de agua incluido en la zona de servicio del puerto de Almería

El espacio de agua incluido en la zona de servicio comprende, en particular, las áreas de agua y dársenas donde se realizan operaciones portuarias de carga, descarga y trasbordo de mercancías y pesca, de embarque y desembarque de pasajeros, donde se prestan servicios técnico-náuticos y donde tiene lugar la construcción, reparación y desguace de buques a flote, así como las áreas de atraque, reviro y maniobra de los buques y embarcaciones, los canales de acceso y navegación y las zonas de espera y de fondeo. El espacio de agua se

¹ Las Autoridades Portuarias pueden participar, con ciertas limitaciones, en sociedades cuya actividad se desarrolla fuera de la zona de servicio del puerto, siempre que guarden relación con el ejercicio de sus competencias. La Autoridad Portuaria de Barcelona, por ejemplo, es accionista de tmZ, Terminal marítima de Zaragoza.

subdivide en dos zonas: Zona I, o interior de las aguas portuarias, que abarca los espacios de agua abrigados, ya sea de forma natural o por el efecto de diques de abrigo; y Zona II, o exterior de las aguas portuarias, que comprende el resto de las aguas. La figura I.1 muestra, a modo de ejemplo, la delimitación de la Zona I y Zona II del puerto de Almería.

Por otro lado, una misma Autoridad Portuaria puede estar a cargo de la gestión de varios puertos, o dársenas de operación separadas unas de otras por dominio público no portuario.

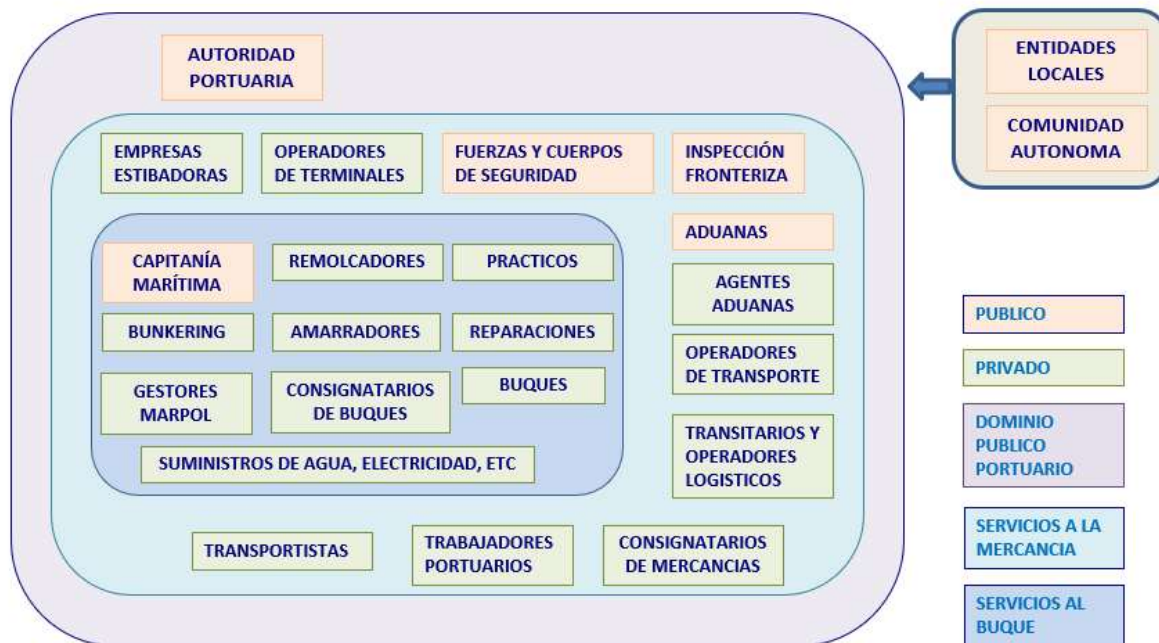
El dominio público portuario es organizado en torno a diferentes usos o actividades de acuerdo con el siguiente esquema general.

Usos y actividades desarrolladas en el dominio público portuario		
Usos y actividades genéricos.		Usos y actividades específicos.
Usos portuarios	Actividades Comerciales Portuarias	<input type="checkbox"/> Las operaciones de estiba, desestiba, carga, descarga, transbordo y almacenamiento de mercancías de cualquier tipo, que justifican la utilización de medios mecánicos o instalaciones especializadas, <input type="checkbox"/> El tráfico de pasajeros y sus vehículos. <input type="checkbox"/> La atención a las escalas de los cruceros turísticos. <input type="checkbox"/> El avituallamiento y suministro a buques comerciales. <input type="checkbox"/> La construcción y reparación de buques. <input type="checkbox"/> Carga y descarga de pesca congelada.
	Actividades Pesqueras	<input type="checkbox"/> Atraque, estancia, avituallamiento, reparación y mantenimiento de barcos pesqueros. <input type="checkbox"/> Descarga de pesca fresca. <input type="checkbox"/> Primera venta en Lonja.
	Actividades Náutico-Deportivas	<input type="checkbox"/> Atraque, estancia, avituallamiento, reparación y mantenimiento embarcaciones deportivas.
	Actividades Complementarias	<input type="checkbox"/> Actividades logísticas y de almacenaje. <input type="checkbox"/> Actividades de empresas industriales o comerciales cuya localización en el puerto esté justificada por su relación con el tráfico portuario o por el volumen de los tráficos marítimos que generan.
Usos no portuarios	Actividades vinculadas a la interacción Puerto-Ciudad	<input type="checkbox"/> Equipamientos culturales o recreativos (museos, exposiciones, recintos feriales, etc) <input type="checkbox"/> Actividades comerciales no portuarias (comercio, restauración, ocio, etc)
	Otras actividades fuera de la zona de servicio.	<input type="checkbox"/> Faros y otras instalaciones de ayuda general a la navegación distintas al balizamiento portuario.

Comunidad Portuaria e instrumentos de gestión de la Autoridad Portuaria.

De lo visto hasta ahora, se desprende que los puertos son comunidades formada por un amplio grupo de empresas que prestan servicios al buque, a la mercancía y al pasaje, en el que se aúnan actividades de tipo logístico con otras de carácter industrial. Esta distinción entre Autoridad Portuaria, y puerto resultara fundamental a la hora de diferenciar los distintos alcances del calculo de la huella de carbono; donde lo alcances I y II se limitan a las emisiones ligadas al desarrollo de las funciones de la Autoridad Portuaria, mientras que el alcance III incluye las emisiones de CO2 de conjunto de empresas que operan en el puerto.

En este contexto la estrategias de sostenibilidad de la Autoridad Portuaria, y en particular las de reducción de la huella de carbono, deben articularse entorno a medidas y actuaciones que estén dentro de su marco de competencia y responsabilidades, teniendo en cuenta que la consecución de puertos sostenibles no es únicamente una responsabilidad de la Autoridad Portuaria, sino también de las empresas que operan en los puertos, así como del resto de administraciones que ejercen sus competencias en el dominio público portuario.



La siguiente tabla desglosa con más detalle algunas de las herramientas de gestión con las que cuentan las Autoridades Portuarias a la hora de implantar una estrategia de sostenibilidad medioambiental para el conjunto del puerto.

INSTRUMENTOS DE GESTIÓN	
Planificación y desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organización del espacio portuario y sus usos. ▪ Inversión en dotación de infraestructura complementaria. ▪ Inversiones en accesos terrestres, viarios y ferroviarios.
Prestación servicios generales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servicio de limpieza de zonas comunes en tierra ▪ Servicio de limpieza de la lámina de agua en condiciones normales y en emergencias ▪ Servicio de alumbrado general
Contratación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contratación de obras y servicios de mantenimiento ▪ Contratación del servicio de limpieza ▪ Contratación de suministros
Regulación administrativa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clausulas en títulos de concesión y en autorizaciones de uso privativo del DPP. ▪ Condiciones en licencias para la prestación de servicios portuario y comerciales.
Regulación y organización operativa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ordenanzas portuarias ▪ Instrucciones de dirección ▪ Asignación de atraques y de suelo en muelles de uso común.

Incentivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bonificaciones a la tasa de actividad por buenas prácticas medioambientales ▪ Bonificación a la tasa del buque por buenas prácticas medioambientales. ▪ Extensión del periodo concesional
Control administrativo y operativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seguimiento del cumplimiento de las condiciones administrativas, operativas y materiales establecidos en títulos habilitantes para la ocupación y uso del DPP. ▪ Supervisión de la operativa por parte del Servicio de Policía Portuaria. ▪ Monitorización y análisis de parámetros ligados a la actividad del puerto.

Por tanto, en la definición de una estrategia de Sostenibilidad, y en particular de una estrategia de reducción de la huella de carbono de los puertos, es necesario tener en cuenta los distintos niveles de control e influencia de las Autoridades Portuarias sobre las actividades desarrolladas en los puertos. En este sentido, se pueden identificar tres tipos de actividades:

- Actividades desarrolladas por la *Autoridad Portuaria*; como son la generación y mantenimiento de infraestructura portuaria, o la prestación de servicios generales.

En este caso la Autoridad Portuaria tiene un *control directo sobre las actividades* y, por tanto, total capacidad para influir sobre el desempeño ambiental de las mismas, *mediante instrumentos* como son los planes de empresa e inversión, o la contratación, entre otros.

- Actividades desarrolladas por *empresas portuarias ligadas a la A.P. por títulos habilitantes*; como son la prestación de servicios portuarios y comerciales, o las actividades desarrolladas por concesiones.

En este caso la Autoridad Portuaria no tiene un control directo sobre la actividad de las empresas, pero puede influir en ella a través de condiciones establecidas en los títulos habilitantes otorgados para prestar servicios en el puerto, u ocupar el dominio público portuario. Por tanto, *la Autoridad Portuaria no tiene un control directo sobre la actividad de este tipo de empresas, pero si puede ejercer una influencia significativa sobre su desempeño ambiental.*

- Actividades desarrolladas por *usuarios del puerto no ligadas a la A.P. por títulos habilitantes*; como es el caso de la actividad de empresas de transporte terrestre y de los buques.

En esta situación, la capacidad de control de la Autoridad Portuaria sobre la actividad queda limitada a la regulación de la operativa mediante las ordenanzas portuarias y la supervisión de su cumplimiento mediante el servicio de policía portuaria, así como velar por la adecuada prestación de servicios que contribuyan a la reducción de la huella de carbono de los sistemas de transporte, como son los servicios de conexión eléctrica a buques, o el suministro de combustibles alternativos. Por tanto, *la Autoridad Portuaria no tiene control directo sobre la actividad de este tipo de empresas, y su influencia sobre su desempeño ambiental es limitada. En el caso particular de los buques, la verificación del cumplimiento de las normas internacionales o comunitarias que aplican a los buques corresponde a las Administración Marítima.*

PRIMERA PARTE

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE UNA AUTORIDAD PORTUARIA

Esta primera parte de la Guía se circunscribe al cálculo de la huella de carbono (HC) atribuible al desarrollo de la actividad portuaria.

El cálculo de la HC de un puerto constituye un punto de partida esencial para que las Autoridades Portuarias puedan identificar e impulsar estrategias y acciones encaminadas a reducir las emisiones de GEI de la actividad portuaria y optimizar los consumos energéticos.

I.1. BASES DEL CÁLCULO

I.1.1. DELIMITACIÓN DE LOS LÍMITES OPERATIVOS OBJETO DE CÁLCULO

Como se ha esbozado en la Introducción la actividad portuaria implica la interacción de diversos actores tanto públicos como privados, correspondiendo a la Autoridad Portuaria la organización espacial, la regulación administrativa, y el control de las operaciones de las empresas que operan en el puerto.

Por todo ello, antes de calcular la HC, será necesario delimitar cuales son las actividades portuarias incluidas en el cálculo y su localización, atendiendo, además, al papel de la Autoridad Portuaria en dichas actividades. Por tanto, es aconsejable incluir la siguiente información:

- Puerto o puertos incluidos en los límites de la HC, en el caso de que la Autoridad Portuaria administre, gestione y explote más de uno.
- Espacios de tierra y de agua necesarios para el desarrollo de los usos portuarios que están incluidos en la zona de servicio del puerto:
 - Identificación gráfica en planta, distinguiendo en los espacios de tierra según uso portuario, y en los espacios de agua entre Zona I y Zona II.
 - Superficie total de los espacios de tierra.

Se incluirá también, si procede, una identificación gráfica de otras localizaciones, fuera de la zona de servicio del puerto, que se incluyan en los límites de la HC.
- Infraestructura portuaria, especificando aquélla que se considera incluida en los límites de la HC.
 - Plano de situación, en el que se identifiquen las principales infraestructuras (e.g. diques, muelles y atraques, edificaciones e instalaciones de uso público), acompañado de su correspondiente descripción.
- Accesos terrestres:
 - Descripción de los accesos terrestres al puerto.
 - Descripción de las comunicaciones por carretera y ferrocarril en el interior del recinto portuario, e identificación de los puntos de entrada/salida al/del puerto.
- Espacios de tierra y servicios concesionados por la Autoridad Portuaria que se consideran incluidos en los límites de la HC.

- Servicios comerciales y servicios portuarios proporcionados por la Autoridad Portuaria o bajo licencia o autorización de la misma (e.g. amarre, practicaaje, remolque, suministro a buques, gestión de residuos según Marpol, etc.) que se consideran incluidos en los límites de la HC.

De forma general, una Autoridad Portuaria agrupará la información en función de cada uno de los puertos que sean administrados por la misma.

Dada la complejidad y tamaño de un puerto individualmente, se considera apropiado dividir el mismo en Unidades Funcionales (UF), tomando estas como elementos o conjunto de elementos que realicen una función específica dentro del puerto. En términos generales, puede ser denominada de este modo cualquier parte del conjunto del puerto que pueda operar de manera relativamente independiente para cumplir una tarea o función concreta. Como ejemplos, cada uno de los edificios de la Autoridad Portuaria, el conjunto de embarcaciones de servicio del puerto, el sistema de alumbrado de viales en su conjunto, cada uno de los espacios concesionados, etc...

Dentro de una misma Unidad Funcional existirán una o varias Unidades de Servicio (US) entendidas como aquellos equipos o servicios que pueden ser consideradas fuentes de emisión directas o indirectas de Gases de Efecto Invernadero. Como ejemplo, dentro de la Unidad Funcional “Edificio de oficinas de la Autoridad Portuaria” existen una caldera y un equipo de refrigeración independientes, el primero alimentado por gas propano y el segundo es eléctrico, cada uno de esos equipamientos se considerará como una Unidad de Servicio dentro de la Unidad Funcional del edificio de oficinas.

La subdivisión del puerto en Unidades Funcionales y Unidades de Servicio, permitirá realizar una administración y control de las emisiones de cada uno de los elementos de forma más eficiente y, en el futuro autoimponernos objetivos individuales para cada uno de ellos o en el conjunto. A modo de ejemplo, una actuación sobre una Unidad Funcional pequeña para reducir su huella de carbono podría tener poca relevancia en la reducción total de la huella del puerto, aunque realmente dicha UF pasase individualmente a ser de huella nula o neutra.

1.1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI ASOCIADAS A LA AUTORIDAD PORTUARIA

Para caracterizar la HC de la Autoridad Portuaria y referir las fuentes emisoras que se analizan en su cálculo, se recurrirá a la noción de **Alcance²**, diferenciando entre Alcance 1, 2 y 3:

- Serán emisiones de GEI de Alcance 1 las liberadas en el lugar donde se produce la actividad por fuentes que son propiedad de, o están controladas de modo directo por, la Autoridad Portuaria (por ejemplo, emisiones procedentes de la combustión en edificios de la Autoridad Portuaria, o derivadas del consumo de combustible del parque móvil y maquinaria que son de su propiedad).
- Serán emisiones de GEI de Alcance 2 las asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la Autoridad Portuaria para el desarrollo de sus actividades (en este caso, las emisiones suelen producirse lejos del punto de consumo de la energía eléctrica).
- Serán de Alcance 3 el resto de emisiones de GEI, procedentes tanto de fuentes directas como indirectas, consecuencia de las actividades reguladas por Autoridad Portuaria, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de o están controladas por otra organización (por ejemplo, las emisiones directas y/o indirectas asociadas a la operación de una terminal portuaria concesionada a un tercero).

El cálculo de la HC de Alcance 3 debería incluir, como mínimo, las emisiones atribuibles a:

² El término “Alcance” es habitual en las metodologías de mayor reconocimiento internacional encaminadas a la determinación y comunicación de la HC de una organización, como el *Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol)* o la norma ISO 14064.

- la actividad de las terminales de mercancías y pasaje y sus vehículos (siempre que no sea local o de ría), teniendo en cuenta tanto los buques como la movilidad de mercancías en tierra dentro del recinto portuario;
- la atención a las escalas de los cruceros turísticos; y
- los servicios de amarre, practica, remolque y gestión de residuos según Marpol proporcionados bajo licencia o autorización de la Autoridad Portuaria.

El cálculo de las emisiones de Alcance 3 suele ser complejo al requerir de la participación de las empresas que operan en el puerto; por ello puede ser recomendable que la Autoridad Portuaria incorpore dicho Alcance en el cálculo de su HC con una frecuencia inferior al cálculo de la HC de Alcances 1 y 2.

I.1.3. MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO

La HC de la Autoridad Portuaria se calculará, con carácter general, aplicando la siguiente expresión:

$$HC = \text{Dato de Actividad} \times \text{Factor de Emisión}$$

donde “*Dato de Actividad*” define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI (por ejemplo, consumo de gas natural en calefacción), y “*Factor de Emisión*” es la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del “*Dato de Actividad*”, cuyo valor variará en función de las unidades empleadas para caracterizar la actividad (por ejemplo, el factor de emisión sería 0,184 kg CO₂eq/kWh³ si el consumo de gas natural en calefacción se mide en kWh). La HC se expresa, pues, en unidades de CO₂eq.

El “*Dato de Actividad*” se referirá normalmente a un año natural. Cuando se incluya en los límites de la HC las emisiones de organizaciones participadas por la Autoridad Portuaria, el “*Dato de Actividad*” se contabilizará de acuerdo a la proporción que ésta posea en la estructura accionarial de aquélla.

I.1.4. FACTORES DE EMISIÓN

I.1.4.1. Factores de emisión de CO₂ de los combustibles fósiles

Para el cálculo de las emisiones directas de GEI atribuibles al consumo de combustibles fósiles en instalaciones fijas y en vehículos, maquinaria y otros equipos móviles terrestres, se recomienda tomar como referencia los factores de emisión de CO₂ que propone utilizar el *Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción*, dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico a través de la Oficina Española de Cambio Climático ^[2]. Dichos factores de emisión son actualizados periódicamente, y pueden variar ligeramente de un año a otro. La parte superior de la tabla I.2 reproduce dichos factores de emisión para el año 2023, incluyendo los factores de emisión de CO₂ a considerar por el uso de embarcaciones del puerto.

Excepcionalmente, podrán utilizarse otros factores de emisión distintos a los incluidos en la tabla I.2 siempre que se justifique que la fuente de procedencia es confiable.

Es importante señalar que los factores de emisión incluidos en la tabla I.2 recogen las emisiones producidas al quemar el combustible, excluyendo las emisiones *well-to-tank*.

Tabla I.2 – Principales Factores de emisión de CO₂ de los combustibles fósiles
 Fuente: *Calculadora de Huella de Carbono para organizaciones 2007-2023 (OECC)*.

Fuente de emisión		Factor emisión (kg CO ₂ eq/ud)
Instalaciones fijas	Gas natural (kWh)	0,182 ⁽²⁾
	Gasóleo C (l)	2,721
	Gas butano (kg)	2,996
	Gas propano (kg)	2,996
	Fuelóleo (kg)	3,124
	GLP genérico (l)	1,545
	BioGas (kg)	0,002
	Hulla y antracita (kg)	3,138
Vehículos y Maquinaria (Camiones N2,N3)	E5 (l)	2,254 ⁽¹⁾
	E10 (l)	2,136 ⁽¹⁾
	E85 (l)	0,376 ⁽¹⁾
	E100 (l)	0,024 ⁽¹⁾
	B7 (l)	2,520 ⁽¹⁾
	B10 (l)	2,445 ⁽¹⁾
	B20 (l)	2,193 ⁽¹⁾
	B30 (l)	1,940 ⁽¹⁾
	B100 (l)	0,176 ⁽¹⁾
Embarcaciones del puerto, deportivas y/o de recreo	Gasóleo B	2,721

GNL = Gas natural licuado

GNC = Gas natural comprimido

GLP = Gas licuado de petróleo

- (1) A partir del año 2019 los combustibles gasolina y gasóleo de automoción pasan a denominarse por las letras E y B respectivamente añadiendo la proporción de biocombustible que contienen (RD 639/2016).
- (2) El factor de emisión del gas natural se expresa en PCS empleando un factor de conversión para el paso de PCS a PCI de 0,901 (*Inventario Nacional de Emisiones de España*).
- (3) La utilización de la biomasa como combustible se considera neutra en emisiones de CO₂ al ser de origen biogénico, pero sí producirá emisiones de CH₄ y N₂O.

I.1.4.2. Factor de emisión de CO₂ del consumo eléctrico

Para el cálculo de las emisiones de GEI debidas al consumo eléctrico se empleará el factor de emisión de CO₂ atribuible a la comercializadora con la que se tenga contratado el suministro eléctrico para el año de cálculo. Este dato se actualiza todos los años y es publicada por la OECC (OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO). Se obtendrá todos los años a partir de la Calculadora de Huella de Carbono para organizaciones 2007-2023 (OECC)

Si una organización tiene contratada la electricidad con varias comercializadoras diferentes, se aplicará el factor de emisión correspondiente a los kWh consumidos en cada una de ellas. En caso de que se prefiera simplificar el procedimiento de cálculo empleando un único factor de emisión, se tendrá que emplear el factor correspondiente al valor medio de los mix de las empresas comercializadoras sin Garantía de Origen y Etiquetado de la Electricidad (GdO⁴), valor que proporciona el mismo documento de la CNMC y que aparece denominado como mix de la “Comercializadora sin GdO’s”.

Conviene tener presente que los factores de emisión del consumo eléctrico publicados por la CNMC en el documento “*Mix Comercial y Factores de Impacto Medio Ambiental*” de la CNMC no incluyen las emisiones *well-to-plant*.

⁴ La GdO es una acreditación expedida por la CNMC que asegura que una cantidad determinada de energía eléctrica se ha obtenido a partir de fuentes renovables y cogeneración de alta eficiencia, en un periodo determinado. Cuanto mayor sea la contribución de fuentes energéticas de origen renovable o bajas en carbono, menor será el factor de emisión.

I.1.4.3. Factores de emisión de gases fluorados en instalaciones de refrigeración y climatización

Para el cálculo de las emisiones de GEI atribuibles al consumo de gases fluorados de uso más común en instalaciones fijas de refrigeración y climatización, se recomienda emplear como factores de emisión los potenciales de calentamiento global incluidos en el *Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción* [2]. Dichos factores son publicados por la OECC y disponibles a través de la mencionada anteriormente “Calculadora de Huella de Carbono para organizaciones 2007-2023 (OECC)”

Entre las fuentes de emisión se dividirán las mismas entre aquellas procedentes de (A) equipos de climatización y refrigeración, de aquellas otras procedentes de las recargas debidas a (B) fugas y/o uso de extintores.

3. EMISIONES FUGITIVAS (EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN Y OTROS)		
A. Climatización / refrigeración		
Nombre ⁽¹⁾	Fórmula química	PCA 6AR
HFC-23	CH2F3	14.600
HFC-32	CH2F2	771
HFC-41	CH3F	135
HFC-125	C2HF5	3.740
HFC-134	C2H2F4	1.260
HFC-134a	CH2FCF3	1.530
HFC-143	C2H3F3	364
HFC-143a	C2H3F3	5.810
HFC-152	CH2FCH2F	21,5
HFC-152a	C2H4F2	164
HFC-161	C2H2F	4,84
HFC-227ea	C3HF7	3.600
HFC-236cb	CH2FCF2CF3	1.350

A modo de ejemplo para el cálculo, si durante el año en curso se ha producido la recarga de 1 kg de HFC-23 en un equipo de refrigeración, suponen la emisión de 14.600,00 kg de CO₂eq.

B. Otros		
Formula química	Nombre	PCA 6AR
CO ₂	Dióxido de Carbono	1
CH ₄	Metano	27,9
N ₂ O	Óxido nítrico	273
SF ₆	Hexafluoruro de azufre	24.300
NF ₃	Trifluoruro de nitrógeno	17.400

I.2. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE ALCANCES 1 Y 2 DE LA AUTORIDAD PORTUARIA

I.2.1. EMISIONES DE ALCANCE 1 DE LA AUTORIDAD PORTUARIA

Se consideran emisiones de *Alcance 1* de la Autoridad Portuaria las liberadas en el puerto por fuentes que son de su propiedad o están controladas por ella. Su cálculo supondrá, en general, recopilar los datos de actividad que se indican a continuación, y multiplicarlos por su correspondiente factor de emisión (cf. I.1.4):

- Consumo total de combustibles fósiles en instalaciones fijas (e.g. calderas, motores), según tipo de combustible (e.g. gasóleo C, fuelóleo), obtenido a partir de facturas de suministro de combustibles (evitando confundir consumo con la información de suministro).
- Consumo de combustibles fósiles de equipos móviles propios (e.g.: vehículos automóviles; maquinaria para mantenimiento; grúas y equipos auxiliares de carga, descarga y transporte en tierra; embarcaciones al servicio de la operación de los buques en el interior de las instalaciones portuarias, u otro material flotante empleado en el puerto). Se incluirá no solo los equipos que sean propiedad de la Autoridad Portuaria, sino también los que ésta tenga en regímenes tipo *leasing* o *renting*.

En este epígrafe no se incluye el consumo debido a los desplazamientos que puedan realizar los empleados de la Autoridad Portuaria por motivos de trabajo en medios de transporte sobre los que ésta no tiene el control del consumo (desplazamientos en tren, avión, taxi, etc.). Tampoco se incluyen las emisiones que puedan generar los empleados para sus desplazamientos desde sus hogares a su centro de trabajo y viceversa.

Si no se dispone del consumo de combustible en litros, y se dispone del gasto realizado por este concepto, se podrá estimar el consumo de combustible como el cociente entre el gasto realizado y el precio medio de dicho combustible en el año considerado (el precio medio del gasóleo A y de la gasolina puede obtenerse, por ejemplo, de los informes anuales sobre precios de carburantes y combustibles publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

En caso de no disponer de información sobre consumo de combustibles, éste podrá estimarse a partir de las características de los equipos y uso que se haga de ellos (cf. I.3.1).

- Fugas de los equipos fijos de climatización y refrigeración. Para estimar la cantidad de gas fugado será necesario conocer el tipo de gas refrigerante (o la mezcla de ellos, denominada preparado) que consume cada equipo, y disponer de un registro de la cantidad de gas que se ha recargado en cada equipo durante el periodo de estudio, asumiendo que la cantidad de gas fugado equivale a la cantidad de gas que se recarga.

I.2.2. EMISIONES DE ALCANCE 2 DE LA AUTORIDAD PORTUARIA

Se consideran emisiones de *Alcance 2* de la Autoridad Portuaria las asociadas a la generación de electricidad consumida por la Autoridad Portuaria en sus edificios (para iluminación, fuerza y climatización) y en los viales portuarios. Como dato de actividad se empleará el consumo de electricidad (kWh) procedente de proveedores externos durante el periodo de cálculo, calculado a partir de las facturas de electricidad. La HC se obtendrá de multiplicar estos datos de consumo por el correspondiente factor de emisión (cf. I.1.4).

Si una Autoridad Portuaria dispone de instalaciones para la generación de energía renovable, podrá descontar de la electricidad consumida la electricidad que haya introducido a la red de distribución general.

I.3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE ALCANCE 3 ATRIBUIBLES A LA EXPLOTACIÓN DEL PUERTO

Se consideran emisiones de *Alcance 3* de la Autoridad Portuaria el resto de las emisiones de GEI consecuencia de sus actividades, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de, o están controladas por, otra organización. Estas emisiones comprenden típicamente, por ejemplo:

- Las emisiones atribuibles a los servicios portuarios y comerciales proporcionados por la iniciativa privada, previa obtención de licencia o autorización otorgada por la Autoridad Portuaria. Incluye los servicios a la navegación dentro del puerto (practicaje, remolque portuario, y amarre y desamarre), servicios al pasaje (embarque y desembarque de pasajeros, carga y descarga de equipajes, y de vehículos en régimen de pasaje), servicios de manipulación de mercancías (carga, estiba, descarga, desestiba, tránsito marítimo y trasbordo de mercancías), la recepción de desechos generados por buques, otras actividades de naturaleza comercial vinculadas a la actividad portuaria (como el avituallamiento a buques), etc.
- Las emisiones de las actividades desarrolladas en el puerto que son gestionadas por empresas concesionarias, por ejemplo, en:
 - Terminales de pasajeros de líneas regulares y cruceros turísticos.
 - Terminales de mercancías de granel sólido/líquido, de contenedores, polivalentes, de vehículos, ro-ro, etc.
 - Actividades de almacenaje y logística vinculadas al paso de las mercancías por el puerto.
 - La reparación de buques.
 - El avituallamiento a buques.
 - Servicios náuticos.
- Las emisiones del tráfico terrestre y marítimo dentro del puerto.

Entre las emisiones de *Alcance 3* de la Autoridad Portuaria se incluyen asimismo las ocasionadas por actuaciones de mantenimiento y reparación de la infraestructura portuaria que no hayan sido consideradas en los Alcances 1 y 2. A efectos del cálculo de la HC puede normalmente obviarse, sin embargo, su valoración, puesto que estas emisiones suelen ser marginales en comparación con las emisiones asociadas a la operación portuaria (del orden de dos órdenes de magnitud inferiores, según los resultados obtenidos para el puerto sueco de Gotemburgo^[6]).

También se puede excluir del cálculo de las emisiones de Alcance 3 - por la misma razón - las emisiones asociadas a los desplazamientos que puedan realizar los empleados de la Autoridad Portuaria y de otras organizaciones que operan en el puerto por motivos de trabajo en medios de transporte sobre los que éstas no tienen el control del consumo (tren, avión, etc.).

En aquellos casos en que la Autoridad Portuaria desee comparar con mayor precisión cuál es la reducción de HC conseguida al implantar medidas que supongan cambiar el consumo de combustibles fósiles por consumo de energía eléctrica (por ejemplo, el *cold ironing*), es recomendable tomar en cuenta en el cálculo de las emisiones de Alcance 3 las emisiones *well-to-plant* y *well-to-tank*.

I.3.1. EMISIONES DE ACTIVIDADES GESTIONADAS POR OTRAS ORGANIZACIONES QUE OPERAN EN EL PUERTO EN RÉGIMEN DE CONTRATACIÓN, CONCESIÓN, AUTORIZACIÓN O LICENCIA

El cálculo de las emisiones de actividades gestionadas por organizaciones distintas a la Autoridad Portuaria que operan en el puerto en régimen de contratación, concesión, autorización o licencia se hará considerando las emisiones como si se calculara el *Alcance 1* y *Alcance 2* de dichas organizaciones, de forma análoga a como se ha indicado para la Autoridad Portuaria en el apartado I.2 de esta Guía.

Para hacer este cálculo es frecuente apoyarse en un formulario tipo que la Autoridad Portuaria distribuye a cada organización, en el que se solicitan los datos de consumo de combustibles fósiles en instalaciones fijas y equipos móviles propios (desglosado por tipo de combustible), fugas de los equipos fijos de climatización y refrigeración (cantidad y tipo de gas fugado) y la electricidad total consumida (según compañía suministradora). En el caso particular de terminales de vehículos como mercancía, se deberá tener en cuenta el consumo de combustible del propio vehículo al desplazarlo por la terminal.

Como complemento a esta guía, Puertos del Estado proporcionará una herramienta accesible a través de un formulario *www*, donde cada organización podrá introducir y realizar los cálculos de Huella de Carbono de su propia instalación individualmente. Los datos introducidos por cada organización podrán ser posteriormente empleados por cada Autoridad Portuaria para realizar el cálculo de las emisiones en este apartado. La información podrá ser introducida por cada organización o directamente por la Autoridad Portuaria si la obtención de la información ha sido recibida por la misma por un medio ajeno a la aplicación informática (ej.- formularios tipo anteriormente mencionados)

A continuación, se describe cómo estimar el consumo de combustibles fósiles derivado de la utilización de equipos móviles propios (C_{EM}) en el caso de que una organización no disponga de información sobre consumo de combustibles de alguno de ellos:

- En el caso de vehículos automóviles, el consumo de combustible podrá estimarse a partir del kilometraje recorrido y del consumo medio correspondiente al tipo de vehículo.
- Para maquinaria, grúas y equipos auxiliares de carga, descarga y transporte en tierra, el consumo en gramos de cada equipo puede estimarse aplicando la expresión siguiente:

$$C_{EM} = P_{EM} * FC_{EM} * Act_{EM} * CUP_{EM} \quad [1.1]$$

donde P_{EM} es la potencia nominal total de los motores del equipo móvil, en kW;
 FC_{EM} es el factor de carga al que suelen funcionar, en promedio, dichos motores, en tanto por uno. Se incluye factores de carga publicados por CARB (The California Air Resources Board) por tipología de maquinaria auxiliar de puerto⁵ y por tipología de buque auxiliar⁶.

⁵ Equipment	Type Port Equipment	Useful Life	Load Factor
Crane	RTG crane, crane	24	0.43
Excavator	Excavator	16	0.57
Forklift	Forklift	16	0.3
Material Handling Equip	Top Handler, Side Pick	16	0.59
Other General Ind Equip	Aerial lift, truck, other	16	0.51
Sweeper/Scrubber Sweeper		16	0.68
Tractor/Loader/Backhoe	Loader, Backhoe	16	0.55
Yard Tractor offroad eng.	Yard Tractor	12	0.65
Yard Tractor onroad eng.	Yard Tractor	12	0.65
Other Gen. Equip onroad	Truck (i.e. fuel, water)	16	0.51

⁶ Harbor Vessel Type	Auxiliary Engines	Main Engines
Assist tug	0.43	0.31

Act_{EM} es el tiempo total en que el equipo está en funcionamiento, en horas; y
 CUP_{EM} es el consumo de combustible por unidad de potencia consumida (g/kWh).

Con carácter general puede despreciarse el consumo de aquellos equipos cuya potencia nominal sea inferior a 20 kW.

Podrán tomarse como valores de consumo de combustible por unidad de potencia consumida los que propone la guía de inventario de emisiones publicada conjuntamente por el EMEP y la Agencia Europea de Medio Ambiente en 2019 [7]. De acuerdo con la Guía EMEP/EEA, el consumo de gasóleo A por unidad de potencia consumida puede suponerse igual a 254 g/kWh si $P_{EM} > 130$ kW, y de $272-0,13 \cdot P_{EM}$ cuando $P_{EM} \leq 130$ kW. El consumo de gasolina puede estimarse igual a $100 + 400/P_{EM}^{0,05}$ para motores de dos tiempos y a $80 + 300/P_{EM}^{0,05}$ para motores de cuatro tiempos. El consumo de GLP puede suponerse fijo, igual a 350 g/kWh. De acuerdo con la Guía EMEP/EEA conviene tener en cuenta que CUP_{EM} aumentará en torno al 1% por cada año de antigüedad del equipo.

- Para estimar el consumo de combustible de embarcaciones al servicio de la operación de los buques en el interior de las instalaciones portuarias (practicaje, remolque y amarre) y de otro material flotante empleado en el puerto (dragas, gánguiles, gabarras, barcazas, etc.), puede emplearse también la expresión [1.1]. La Guía EMEP/EEA [3] supone consumos medios (a bajas cargas pueden aumentar hasta un 20%) en torno a 275 g/kWh en caso de emplear gasóleo, y 426 g/kWh ó 791 g/kWh si se emplea gasolina, según sea el motor de 4 ó 2 tiempos respectivamente. Asume, asimismo, factores de carga de 0,5 para embarcaciones.
- Una vez calculados los consumos de combustibles se les aplicará el factor de emisión de CO₂ del gasóleo, gasolina y GLP⁷. El consumo de combustible asociado al funcionamiento de la maquinaria-grúas y de barcos auxiliares se declara como información en poder de las empresas concesionarias del puerto, lo que reduciría el cálculo de la huella de carbono por este concepto a aplicar este único apartado.

1.3.2. EMISIONES DEL TRÁFICO TERRESTRE DENTRO DEL RECINTO PORTUARIO

1.3.2.1. Emisiones atribuibles al transporte de mercancías en camión

Las emisiones atribuibles al transporte de mercancías en camión dentro del recinto portuario (HC_{TMC}) pueden estimarse aplicando la expresión siguiente:

$$HC_{TMC} = \sum_{i=1} D_{Ci} * C_{Ci} * FE_{Ci} + \sum_{i=1} T_{CRi} * C_{CRi} * FE_{Ci}$$

siendo D_{Ci} la distancia total recorrida (km) dentro del recinto portuario por los camiones de tipo i que cargan/descargan mercancías en el puerto;
 C_{Ci} el consumo medio de combustible (l/km) del motor de un camión de tipo i;
 T_{CRi} el tiempo medio de funcionamiento del motor al ralentí (h) del camión de tipo i, durante esperas y procesos de carga y descarga;

Crew boat	0.32	0.38
Excursion	0.43	0.42
Ferry	0.43	0.42
Government	0.43	0.51
Ocean tug	0.43	0.68
Tugboat	0.43	0.31
Work boat	0.32	0.38

⁷ Los factores de emisión en CO₂eq HFO (g/ g de combustible) es 3,163, el de MDO (g/ g de combustible) es 3,246, el de GNL (g/ g de combustible) es de 3,163. Cuarto Informe del IMO 2020.

C_{CRi} el consumo medio de combustible (l/h) del motor de un camión de tipo i, funcionando al ralentí; y

FE_{Ci} el factor de emisión del combustible (kgCO₂eq/l) empleado por el camión de tipo i.

Se asume que las emisiones atribuibles al consumo de combustible y refrigerantes en equipos de refrigeración instalados en camiones o contenedores frigoríficos pueden despreciarse frente a las emisiones del motor del camión, al ser éstas casi dos órdenes de magnitud superiores a aquéllas^[8].

En general, se podrá asumir que los camiones consumen gasóleo A, dado que el parque de vehículos pesados en España que consumen otros combustibles o electricidad es todavía muy reducido en la actualidad.

La distancia total recorrida (D_{Ci}) podrá calcularse teniendo en cuenta el número de camiones del tipo i que acceden al puerto y el recorrido promedio de ida y de vuelta realizado por cada tipo de camión desde los accesos al recinto portuario hasta las terminales destino de carga y descarga, incluyendo el recorrido dentro de la terminal y maniobras.

El número de camiones de cada tipo podrá estimarse, si no está disponible el dato, a partir de las estadísticas de mercancías movidas por cada terminal (excluida mercancía en tránsito), la carga media por camión cuando éste va cargado, y el porcentaje de trayectos en vacío. La tabla I.6 proporciona algunos valores de referencia para la carga media por camión.

Tabla I.6 – Carga media por camión cargado

Tipo de camión	Carga media
Mercancía en contenedor	1 contenedor ⁸
Mercancía general convencional y granel	26,25 toneladas ⁹
Turismos como mercancía	8 vehículos
Camiones y autobuses como mercancía	1 vehículo
Tráfico ro-ro	1 semirremolque

El consumo medio de combustible por km (C_{Ci}) depende del tipo de camión.

Como valor de referencia suele tomarse un valor de 0,306 l/km, tal y como realiza la Calculadora de Huella de Carbono para Organizaciones 2007-2023. Este valor es deducido del Factor de Emisión por cantidad de combustible B7 para camiones N2/N3 (2,520 kgCO₂eq/l) y, el Factor de Emisión para camiones N2/N3 por kilómetro recorrido (0,772 kgCO₂/km). Una simple división daría el factor de consumo en l/km ($0,306=0,772/2.520$).

Estos consumos son obtenidos tras procesar el Informe de la Comisión Europea de septiembre de 2023, en virtud del reglamento (UE) 2018/956 respecto al periodo 2020, donde en el Cuadro 7, para camiones de mas de 16 toneladas que consumen gasóleo, se estiman (explícitamente) emisiones específicas medias de 0,7741 kgCO₂eq/km con consumos medios de 0,300 l/km.

Sin embargo, esta cifra es calculada para el conjunto del tráfico pesado en el país, con velocidades muy superiores a las de entornos portuarios. La metodología del *Sistema Español de Inventario de Emisiones* indica que para el cálculo de los factores de emisión, cerca del 90% de los km recorridos por camiones se realiza en tramos interurbanos (velocidad media 94,5 km/h) y tramos rurales (velocidad media 65 km/h), solo el 10% de los km recorridos se consideran realizados en entornos urbanos a una velocidad de 20 km/h.

En concreto un consumo 0,316 l/km podría tomarse como un consumo óptimo de un camión de 44t en un tramo recto de autovía, donde la velocidad estimada fuera de unos 80-90 km/h.

⁸ Ratio t /TEU= 10 t/ 1TEU

⁹ Cargado al 85%. Excluido el contenedor.

En entornos portuarios, por norma general, las velocidades permitidas son inferiores a los 50 km/h; y en las terminales portuarias la norma de circulación para camiones es una limitación de 30 km/h en viales generales y, 10 km/h en curvas y 15 km/h en entrecalles.

La literatura convencional estima que en viales normales de doble sentido, incluyendo bloqueos como tráfico y/o múltiples cruces, el consumo podría llegar a alcanzar los 0,50 l/km. Como ejemplo de dicha literatura, estaría *Transportation Energy Data Book (edition 40)* del año 2022 donde los estudios realizados sobre el tráfico de camiones en Estados Unidos, estima consumos medios de 0,401 l/km para camiones circulando a 80 km/h y, 0,598 l/km para camiones circulando a 30 km/h, si bien estos estudios han sido realizados sobre camiones del entorno no europeo.

En esta guía adoptaremos como valor de referencia, el cálculo del consumo para camiones en función de su velocidad dado por la Monografía 12 de Enertrans para vehículos de gasóleo N2/N3, donde se desglosa el consumo en una parte dependiente de las características generales del vehículo y, una segunda parte parabólica dependiente de la velocidad del vehículo dada. Para ajustar los consumos dependientes de las características generales del vehículo en la curva, admitiremos un consumo de 0,306 l/km a una velocidad de 80 km/h en un trayecto realizado por un camión cargado.

$$\text{consumo} \left(\frac{l}{100km} \right) = 8,351 + 0,967 * (51,616 - 0,812 * V + 0,00568 * V^2)$$

De acuerdo con dicha fórmula, los valores de referencia dependerán de la velocidad permitida a los camiones en su trayecto, oscilando entre 0,510 l/km a 10 km/h y, 0,396 l/km a 30 km/h.

Los trayectos de camiones que circulan en vacío es un problema particularmente importante en las terminales portuarias, dado que tanto en operaciones de importación de mercancías como en exportación, por cada trayecto cargado se produce un trayecto simétrico en dirección opuesta en vacío. Para los operadores logísticos dichos trayectos en vacío repercuten en sus cuentas de resultados al obtener menor rendimiento económico, por el contrario, un trayecto en vacío consume menos combustible y por tanto, se producen un menor número de emisiones de GEI.

De partida, y a falta de otra información, se asume que el 50% de los trayectos totales en el interior de un puerto se realizarán en vacío.

Si se tiene constancia de que los transportistas realizan mecanismos de colaboración con otras compañías logísticas radicadas en el interior del puerto, que permita reducir el número de trayectos en vacío en el interior del puerto, puede reducirse dicho porcentaje y con ello, ajustar las emisiones a valores mas realistas. Los mecanismos que facilitarían la reducción de trayectos en vacío serían, entre otros, la elaboración de planes de transporte conjuntos con otros socios comerciales y la ejecución de dichos planes mediante la existencia de una Red Logística Colaborativa (CLN, por sus siglas en inglés) o, la posibilidad de realizar transporte compartido de mercancías.

Algunos estudios estiman que, para camiones, el incremento de un 10% en el peso bruto puede resultar en un aumento del 5% en el consumo de combustible.

En esta guía, se reducirá el consumo en los trayectos en vacío en 0,107 l/km (0,00409 l/t-bruta, estimando 26,25t por contenedor) sobre el consumo estimado en función de su velocidad anteriormente. De este modo, el consumo de un camión en vacío oscilará entre 0,403 l/km a 10 km/h y, 0,289 l/km a 30 km/h

A modo de ejemplo, para un trayecto teórico de exportación realizado a una velocidad constante de 30 km/h, el camión entrará en el puerto cargado consumiendo 0,396 l/km y, realizará el trayecto de salida en vacío consumiendo 0,289 l/km, por lo que se podrá estimar un consumo medio de 0,342 l/km. Para el cálculo de las emisiones

$$\begin{aligned} HC_{TMC} &= \sum_{i=1} \left(\frac{D_{Ci}}{2} * C_{Ci}(\text{cargado}) + \frac{D_{Ci}}{2} * C_{Ci}(\text{vacío}) \right) * FE_{Ci} + \sum_{i=1} T_{CRI} * C_{CRI} * FE_{Ci} \\ &= \sum_{i=1} D_{Ci} * \left(\frac{C_{Ci}(\text{cargado}) + C_{Ci}(\text{vacío})}{2} \right) * FE_{Ci} + \sum_{i=1} T_{CRI} * C_{CRI} * FE_{Ci} \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1} D_{Ci} * C_{Ci}(\text{medio}) * FE_{Ci} + \sum_{i=1} T_{CRi} * C_{CRi} * FE_{Ci}$$

5. Como valor de referencia para el consumo de combustible de un camión al ralentí (C_{CRi}) puede tomarse 0,027 l/min, o de forma equivalente un total de 1,64 l/h. Este dato ha sido obtenido de “Tidling Action Research - Review of Emissions Data” publicado en 2021 por el Transport Research Laboratory (TRL), donde se indican emisiones medias de 68,64 gCO₂/min mientras un camión pesado se mantiene al ralentí. Asumiendo un factor de emisión para el diésel de 2,508 kgCO₂/l (año 2019) es posible estimar con una simple división el consumo en l/min.

Si el puerto justifica que sus camiones apagan los motores en carga y descarga de mercancías, no se tiene que aplicar el incremento de consumo de combustible por este concepto. En visitas a los puertos se ha comprobado que esta práctica se lleva a cabo.

A efectos prácticos se considerará toda la flota de camiones siendo propulsada por diésel, dado que apenas el 1% de la flota de camiones en España no se propulsa con este combustible.

1.3.2.2. Emisiones atribuibles al transporte de mercancías en ferrocarril

Las emisiones asociadas al transporte de mercancías en ferrocarril dentro del recinto portuario (HC_{TMF}) podrán estimarse como:

$$HC_{TMF} = M_F * D_F * C_F * FE_F$$

donde M_F es el total de mercancías cargadas/descargadas en ferrocarril en las vías interiores del puerto;
 D_F es la distancia total recorrida por las mercancías en ferrocarril dentro del recinto portuario¹⁰;
 C_F es el consumo medio de combustible por tonelada y kilómetro recorrido en ferrocarril; y
 FE_F es el factor de emisión del gasóleo A, en kgCO₂eq/l.

A falta de información más precisa, podrá suponerse que el consumo medio de combustible por tonelada y kilómetro recorrido en ferrocarril como

Cabeza Tractora	Tipo configuración	Consumo	Unidades
Diesel	Denso	1,12	l/(tneta*100km)
	Ligero	3,8	
Eléctrica	Denso	4,9	kWh/(tneta*100km)
	Ligero	15,5	

Al igual que en el transporte por carretera, un tren que entra o sale del puerto “vacío también consume energía y a este consumo se le debe imputar a las toneladas netas transportadas en el sentido contrario. Por ejemplo, en el caso de transporte de graneles (denso) el coeficiente es uno (1 tren cargado genera a 1 tren vacío) pero para el caso de portaautomoviles (ligero) es de 0.8 (cada tren cargado necesita a 0.8 trenes vacíos)”.

¹⁰ Se entiende como recinto portuario todas las instalaciones que dependen de la Autoridad Portuaria. En este caso se considerarían todas las distancias recorridas en ferrocarril por las mercancías en instalaciones dependientes de una Autoridad Portuaria, como puede ser el ejemplo de la terminal logística ferroviaria de Majarabique y su relación con el Puerto de Huelva.

I.3.2.3. Emisiones atribuibles a transporte por tubería

Las emisiones asociadas al transporte de mercancías por tubería dentro del recinto portuario (HC_{TMT}) podrán estimarse como:

$$HC_{TMT} = M_F * D_F * C_F * FE_F$$

donde M_F es el total de mercancías por tubería en el recinto portuario;
 D_F es la distancia total recorrida por las mercancías en tubería dentro del recinto portuario;
 C_F es el consumo medio de electricidad por tonelada y kilómetro recorrido en tubería en kWh/t-km¹¹; y
 FE_F es el factor de emisión de la electricidad de la comercializadora de la Autoridad Portuaria, en gCO₂eq/kWh.

En esta Guía se considerará, a falta de información mas precisa, un consumo medio de electricidad por tonelada y kilómetro recorrido en tubería que igual a 0,014 kWh/t-km en gaseoductos de gas natural.

Para el caso del transporte de gasóleo y gasolina, se estimará a partir de las tablas siguientes, donde los valores han sido indicados en kWh/t-km:

GASÓLEO		Velocidad (m/s)						
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Diámetro interior de la tubería (m)	0.2	0,0193	0,0403	0,0681	0,1027	0,1440	0,1918	0,0193
	0.25	0,0147	0,0306	0,0519	0,0783	0,1098	0,1463	0,0147
	0.3	0,0117	0,0245	0,0415	0,0627	0,0880	0,1173	0,0117
	0.35	0,0097	0,0203	0,0344	0,0520	0,0730	0,0974	0,0097
	0.4	0,0083	0,0173	0,0293	0,0443	0,0622	0,0829	0,0083
	0.45	0,0071	0,0150	0,0254	0,0384	0,0539	0,0720	0,0071

GASOLINA		Velocidad (m/s)						
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Diámetro interior de la tubería (m)	0.2	0,0160	0,0341	0,0587	0,0896	0,1269	0,1706	0,0160
	0.25	0,0122	0,0260	0,0448	0,0684	0,0969	0,1303	0,0122
	0.3	0,0098	0,0209	0,0359	0,0549	0,0778	0,1046	0,0098
	0.35	0,0081	0,0173	0,0299	0,0456	0,0646	0,0869	0,0081
	0.4	0,0069	0,0148	0,0254	0,0389	0,0551	0,0741	0,0069
	0.45	0,0060	0,0128	0,0221	0,0338	0,0479	0,0643	0,0060

I.3.2.4. Emisiones atribuibles a los vehículos en régimen de pasaje

En los puertos donde embarquen/desembarquen un número significativo de vehículos en régimen de pasaje, su HC se podrá calcular aplicando la expresión siguiente:

$$HC_{TVP} = D_{VPT} * C_{VPT} * FE_{VPT} + D_{VPF} * C_{VPF} * FE_{VPF} + D_{VPA} * C_{VPA} * FE_{VPA}$$

siendo D_{VPT} , D_{VPF} y D_{VPA} la distancia total recorrida dentro del recinto portuario por los turismos (D_{VPT}), furgonetas (D_{VPF}) y autocares (D_{VPA}) en régimen de pasaje;
 C_{VPT} , C_{VPF} y C_{VPA} el consumo medio de combustible de un turismo (C_{VPT}), furgoneta (C_{VPF}) o autocar (C_{VPA}); y

¹¹ Dato obtenido de la monografía Flujos del petróleo y del gas natural para el transporte del proyecto Enertrans.

FE_{VPt} , FE_{VPf} y FE_{VPa} el factor de emisión del combustible empleado, respectivamente, por cada uno de dichos vehículos.

Las distancias D_{VPt} , D_{VPf} y D_{VPa} se pueden estimar a partir del número de vehículos en régimen de pasaje de cada clase que entran y salen del puerto, y el recorrido promedio realizado por cada uno de ellos desde los accesos al recinto portuario hasta la terminal de embarque o desembarque.

Como valores de referencia de C_{VPt} , C_{VPf} y C_{VPa} se pueden emplear los consumos medios indicados en la tabla I.7.

En esta guía adoptaremos como valor de referencia, el cálculo del consumo para turismos en función de su velocidad dado por la Monografía 12 de Enertrans para turismos de gasóleo y gasolina M1, donde se desglosa el consumo en una parte dependiente de las características generales del vehículo y, una segunda parte parabólica dependiente de la velocidad del vehículo dada. Para ajustar los consumos dependientes de las características generales del vehículo en la curva, admitiremos los consumos tipo indicados por IDAE, con un consumo de 0,0456 l/km a una velocidad de 80 km/h en un trayecto realizado por un turismo de gasoleo y, 0,057 l/km por un turismo de gasolina.

$$\text{consumo}_{\text{turismo gasolina}} \left(\frac{l}{100km} \right) = -3,91 + 1,073 * (16,57 - 0,336 * V + 0,004 * V^2 + 12,37 * 10^{-6} * V^3)$$

$$\text{consumo}_{\text{turismo gasóleo}} \left(\frac{l}{100km} \right) = 0,527 + 0,899 * (11,06 - 0,203 * V + 0,002 * V^2 + 6,12 * 10^{-6} * V^3)$$

Para el consumo de furgonetas adoptaremos como valor de referencia dado por la Monografía 12 de Enertrans para furgonetas de gasóleo y gasolina N1, donde se desglosa el consumo en una parte dependiente de las características generales del vehículo y, una segunda parte parabólica dependiente de la velocidad del vehículo dada. Para ajustar los consumos dependientes de las características generales del vehículo en la curva, admitiremos los consumos tipo indicados por IDAE, con un consumo de 0,074 l/km a una velocidad de 80 km/h en un trayecto realizado por una furgoneta N1 de gasoleo y, 0,0622 l/km por una furgoneta N1 de gasolina.

$$\text{consumo}_{\text{furgo gasolina}} \left(\frac{l}{100km} \right) = 2,982 + 0,368 * (25,52 - 0,417 * V + 0,0026 * V^2)$$

$$\text{consumo}_{\text{furgo gasóleo}} \left(\frac{l}{100km} \right) = 3,664 + 0,516 * (16,36 - 0,298 * V + 0,0023 * V^2)$$

Para el consumo de autocares adoptaremos como valor de referencia el dado en la Tabla 13 de la Monografía 13 de Enertrans para autobuses y autocares M3 en trayectos urbanos. A modo de referencia, la EMT del Ayuntamiento de Madrid declaró un consumo diesel de 506 kWh por cada 100 km en el año 2021 (último año en que se utilizaron vehículos propulsados con diesel), lo que implicaría unos 0,4931 l/km (0,5458 l/km en el año 2018), lo que sería acorde con el dato adoptado.

~~Si separamos los consumos entre operaciones (velocidades menores de 20 km/h) y tránsito (velocidades menores de 40km), podríamos adoptar el valor de 0,3510 l/km para los transitos de los Autocares entre la terminal y los límites del puerto, asumiendo los consumos dados por Enertrans para trayectos metropolitanos.~~

Tabla I.7 – Consumo medio de combustible según tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Consumo medio
Turismo gasolina	0,073 l/km
Turismo gasóleo A	0,069 l/km
Furgoneta (gasolina)	0,091 l/km

Furgoneta (gasóleo A)	0,090 l/km
Autocar (gasóleo A)	0,509 l/km

Los factores de emisión de furgonetas y autocares (FE_{VPf} y FE_{VPa}) podrán suponerse iguales a los del gasóleo A. Al aplicar el factor de emisión a los turismos (FE_{VPt}) podrá suponerse, a falta de datos más precisos, que la distancia D_{VPt} que recorren los turismos que emplean un mismo tipo de combustible (gasolina o gasóleo) es coherente con la distribución del parque de turismos en España (45% de turismos de gasolina y 55% de gasóleo en 2019, según las estadísticas publicadas por la Dirección General de Tráfico).

1.3.3. EMISIONES DEL TRÁFICO MARÍTIMO EN EL PUERTO

Se consideran emisiones del tráfico marítimo en el puerto (HC_{TM}) aquéllas que están asociadas a los buques mercantes, de pasaje y mixtos que hacen escala en el mismo, y tienen lugar durante la etapa de maniobras en aguas abrigadas del puerto (Zona I) y mientras los buques permanecen atracados en el muelle. No se incluyen en este epígrafe las emisiones asociadas al tráfico pesquero, deportivo y/o de recreo, a las embarcaciones al servicio de la operación de los buques en el interior de las instalaciones portuarias o al resto de material flotante empleado en el puerto.

La huella de carbono del tráfico marítimo HC_{TM} se obtendrá, con carácter general, como suma de las emisiones atribuibles al consumo de combustibles fósiles por los motores de los buques (HC_{TMc}) y, en su caso, de la energía eléctrica suministrada a los buques desde tierra mientras éstos permanecen atracados (HC_{TMe}).

Para el cálculo y estimación de las emisiones se utilizará la metodología descrita en el informe “control de emisiones generadas por los buques. metodología para la estimación en tiempo real de las emisiones procedentes de buques en entornos portuarios” de junio de 2022, redactado por el CEDEX con objeto de facilitar al Organismo Público Puertos del Estado una metodología para la estimación de emisiones atmosféricas en tiempo real procedentes de buques en entornos portuarios y costeros, así como la colaboración para su implementación en la herramienta Shiplocus, de la Red AIS de Puertos del Estado. Estas emisiones son producidas a partir de la combustión del combustible a bordo de los buques generando cantidades considerables de SO₂, NO_x, CO_{2eq} (CO₂, CH₄, N₂O), COVNM y material particulado.

Dicha metodología está implantada en la herramienta Shiplocus, que facilita las emisiones totales de cada puerto del Sistema Portuario de titularidad estatal, incluso desglosando estos por muelles, si bien en el caso que nos ocupa solo estaremos interesados en las emisiones del conjunto del puerto.

1.3.4. EMISIONES DEL TRÁFICO PESQUERO, DEPORTIVO Y/O DE RECREO

Se consideran emisiones del tráfico pesquero, deportivo y/o de recreo aquéllas que están asociadas a las embarcaciones que entran y salen del puerto, excluido:

- buques mercantes, de pasaje y mixtos que hacen escala en el mismo, y
- embarcaciones que son propiedad de, o están controladas por, la Autoridad Portuaria u organizaciones distintas a la Autoridad Portuaria que operan en el puerto en régimen de concesión, autorización o licencia.

y que tienen lugar en aguas abrigadas del puerto (Zona I) y mientras tales embarcaciones permanecen atracadas.

I.3.4.1. Emisiones atribuibles al consumo de combustibles fósiles

El cálculo de emisiones atribuible al consumo de combustibles fósiles del tráfico pesquero, deportivo y/o de recreo puede hacerse de forma similar a la descrita en el apartado I.3.1, esto es:

- estimando la suma de la potencia nominal de los motores instalados en todas las embarcaciones, diferenciando según la clasificación mostrada en la tabla I.14,
- considerando un tiempo total de funcionamiento de los mismos durante el periodo al que se refiere el cálculo de la HC (este tiempo dependerá del tiempo medio empleado por cada embarcación para entrar/salir del puerto y del número de veces en que lo haga),
- suponiendo un factor de carga medio de 0,5 en el funcionamiento de los motores, y que el consumo de combustible por unidad de potencia consumida es el indicado en la tabla I.14 (hipótesis conformes con la Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2019^[3]), y
- multiplicando el producto de todos los factores anteriores por el correspondiente factor de emisión, según las embarcaciones consuman gasolina o gasóleo (cf. tabla I.2).

Tabla I.14

Consumo de combustible por unidad de potencia consumida por una embarcación deportiva y/o de recreo

Fuente: Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019

Tipo de motor		Consumo
Motor fuera borda	Dos tiempos - Gasolina	791 g combustible / kWh
	Cuatro tiempos - Gasolina	426 g combustible / kWh
Motor interior	Cuatro tiempos - Gasolina	426 g combustible / kWh
	Gasóleo	275 g combustible / kWh

I.3.4.2. Emisiones atribuibles al consumo de energía eléctrica

A las emisiones anteriores se sumarán las emisiones atribuibles al consumo de energía eléctrica suministrada a las embarcaciones mientras permanecen atracadas, siempre que ésta no haya sido incluida en las emisiones de Alcance 2 de la Autoridad Portuaria o de otras organizaciones que operan en el puerto en régimen de concesión, autorización o licencia.

I.3.5. CONSIDERACIÓN DE LAS EMISIONES WELL-TO-TANK Y WELL-TO-PLANT

En aquellos casos en que se desee estimar las emisiones *well-to-plant* y *well-to-tank*, su cálculo podrá hacerse - de forma aproximada - considerando el factor de emisión que resulta de multiplicar los factores de emisión descritos en el apartado I.1.4 por el porcentaje correspondiente indicado en la tabla I.15. Los porcentajes de la tabla I.15 relativos a combustibles fósiles se han obtenido de las emisiones en los flujos de petróleo (extracción, transporte, transformación y distribución) calculadas por el grupo de investigación del proyecto español Enertrans^[10]¹². En el caso de la energía eléctrica se ha recurrido, a falta de cálculos disponibles para España, a la estimación efectuada en el Reino Unido por el *Department for Environment, Food & Rural Affairs*^[12], que sitúa estas emisiones indirectas en algo más del 15% de las emisiones directas derivadas de la generación de energía eléctrica.

Tabla I.15

Emisiones adicionales debidas a las emisiones *well-to-tank* y *well-to-plant*

Fuente de emisión	Porcentaje
-------------------	------------

¹² En Francia, la *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie*^[11] estima coeficientes algo inferiores: 17% para gasolina, 11% para gasóleo, 19% para GLP y 14% para fuelóleo residual.

Combustible fósil	Gasolina	23%
	Gasóleo A	22%
	Gas licuado del petróleo (GLP) genérico	22%
	Fuelóleo/Gasóleo marino	17%
	Gas natural	17%
Energía eléctrica		15%

I.4. CÁLCULO DE OTRAS EMISIONES INDIRECTAS DE GEI ATRIBUIBLES A OBRAS DE AMPLIACIÓN Y MEJORA DEL PUERTO

A diferencia de las emisiones que se producen como consecuencia de la explotación del puerto (consideradas en los apartados I.2 y I.3 de esta Guía), las emisiones atribuibles a obras de ampliación y mejora tienen un carácter recurrente a intervalos habitualmente plurianuales, por lo que es aconsejable reportarlas de forma diferenciada.

Una forma pragmática de abordar su cálculo es incorporar a la redacción del proyecto constructivo de cada obra, un apartado específico que incluya el cálculo de su HC¹³. En obras en que pueda haber diferencias significativas entre la HC del proyecto y la HC de la obra realizada, puede ser conveniente trasladar a los licitadores el requerimiento de realizar su cálculo *ex post*.

Con carácter general, la HC de las obras de ampliación y mejora del puerto se calcularán como suma de:

- las emisiones *cradle-to-gate*¹⁴ asociadas a la producción de los materiales empleados en la obra;
- las emisiones *well-to-wheel* que se deriven del transporte de estos materiales desde su lugar de producción hasta el emplazamiento de la obra (y, en su caso, del transporte de materiales a vertedero); y
- las emisiones *well-to-wheel* producidas por el empleo de maquinaria y otras instalaciones auxiliares en el emplazamiento de la obra durante la ejecución de la misma.

I.4.1. EMISIONES ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA OBRA

Las emisiones asociadas a la producción de los materiales empleados en la obra se obtendrán de multiplicar la cuantía de cada material que se prevé utilizar en la misma, por el factor de emisiones *cradle-to-gate* asociado a la producción de cada unidad de material.

La valoración de las emisiones podrá hacerse considerando un número limitado de materiales cuyas emisiones resultan habitualmente significativas. En obras portuarias conviene considerar típicamente el material de relleno procedente de préstamo, los tipos de áridos consumidos en mayor cuantía (escolleras clasificadas, todo-uno o pedraplén), el hormigón (en masa y para armar) y el acero para armadura, y los materiales para pavimento de diques, explanadas y viales.

La determinación de las cantidades empleadas de cada material se realizará normalmente con ayuda de las mediciones y secciones tipo incluidas en el proyecto.

Para estimar el factor de emisiones asociado a la producción de cada material se recurrirá a alguna/s de las bases de datos, gratuitas o de pago, puestas a disposición del público. El uso de estas bases de datos deberá hacerse con precaución, puesto que las condiciones de producción (procesos, fuentes de energía primaria empleadas, mix eléctrico) pueden no ser equivalentes a las que existan en España, o los criterios para el cálculo de los factores de emisión pueden no ser plenamente coherentes con los considerados en esta Guía. A veces puede resultar cómodo acudir directamente a los factores de emisión considerados por alguna

¹³ En ocasiones, la ejecución del proyecto requerirá la construcción de instalaciones y/o infraestructuras auxiliares (por ejemplo, accesos para el tráfico terrestre, explanadas para instalaciones y acopio de materiales, muelles auxiliares, diques flotantes para la construcción de cajones, etc.). Es frecuente que los proyectos no contemplen la identificación de estas instalaciones por considerarlas instalaciones auxiliares de obra. Sin embargo, hay que incluirlas dentro del cálculo de la HC siempre que las emisiones asociadas a su ejecución puedan ser significativas.

¹⁴ Emisiones calculadas desde la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación del material hasta la salida del material de la factoría de producción para su utilización en obra.

administración nacional¹⁵, manteniendo las mismas precauciones indicadas previamente. La tabla I.16 proporciona – a modo de referencia - una relación de los principales materiales que suelen emplearse en obras típicamente portuarias (diques en talud o verticales, y muelles de cajones o de pilotes), así como un orden de magnitud de las emisiones asociadas a la producción de cada uno de ellos de acuerdo con la bibliografía revisada.

Tabla I.16
Emisiones medias *cradle-to-gate* por unidad de material consumido en obras portuarias

Tipo de material	Emisiones	Densidad
Áridos y tierras		
Todo-uno de cantera	6,0 kgCO ₂ e/m ³	2,0 t/m ³
Escollera clasificada	15,6 kgCO ₂ e/m ³	2,6 t/m ³
Relleno en celdas de cajones procedente de cantera	6,0 kgCO ₂ e/m ³	2,2 t/m ³
Relleno general de explanada procedente de préstamo terrestre	1,8 kgCO ₂ e/m ³	1,6 t/m ³
Relleno seleccionado en coronación de cajones o explanada procedente de préstamo terrestre	1,8 kgCO ₂ e/m ³	1,6 t/m ³
Grava en banqueta de cimentación de cajones	24,2 kgCO ₂ e/m ³	2,2 t/m ³
Pedraplén colocado en trasdós de cajones	6,0 kgCO ₂ e/m ³	2,0 t/m ³
Zahorra artificial en formación de base	24,2 kgCO ₂ e/m ³	2,2 t/m ³
Hormigón		
Hormigón en masa, incluido el hormigón en bloques	285 kgCO ₂ e/m ³	2,3 t/m ³
Hormigón para armar	330 kgCO ₂ e/m ³	2,5 t/m ³
Acero		
Acero para armadura	1,4 kgCO ₂ e/kg	7,8 t/m ³
Pavimento		
Mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso	180 kgCO ₂ e/m ³	2,4 t/m ³
Hormigón en pavimento	355 kgCO ₂ e/m ³	3,0 t/m ³

I.4.2. EMISIONES ASOCIADAS AL TRANSPORTE DE MATERIALES

A las emisiones anteriores se sumará las emisiones *well-to-wheel* que se deriven del transporte de los materiales desde su lugar de producción hasta el emplazamiento de la obra y, en su caso, del transporte de materiales a vertedero. A falta de estimaciones más precisas, se podrá tomar en cuenta los factores de emisión incluidos en la tabla I.17. Dichos factores se han definido para ser aplicados a la distancia que separa los puntos de carga (cantera, préstamo, planta de fabricación, etc.) y descarga (emplazamiento de la obra, etc.) del material, teniendo en cuenta que a un trayecto con carga completa suele corresponderle otro en vacío. Para el transporte terrestre, el cálculo de cada factor se ha realizado suponiendo que, en promedio, se utiliza un 60% de la potencia máxima del vehículo de transporte, que por cada kw de potencia se consumen 254 gr de gasóleo A, que el aprovechamiento de la capacidad del vehículo durante el trayecto en carga es del 85%, y que la velocidad media de transporte es de 60 km/h. Para el cálculo de los factores cuando el transporte se hace por vía marítima, se ha supuesto que el motor principal de la embarcación funciona durante el tiempo de navegación con un factor de carga del 80%, que por cada kw de potencia se consumen 205 gr de diésel marino, y que la velocidad media de transporte es de 7 nudos.

¹⁵ Por ejemplo, en Reino Unido la *Environment Agency* incorpora, en sus aplicaciones para el cálculo de las emisiones en proyectos, tablas sugiriendo las emisiones de CO₂ embebido por unidad de material utilizado.

Tabla I.17
Emisiones medias *well-to-wheel* por unidad de material transportado y kilómetro recorrido

Material y modo de transporte	Emisiones
Transporte de áridos y tierras, por carretera, en camión basculante de 225 kw y 10 m ³	520 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de áridos y tierras, por carretera, en camión articulado de 275 kw y 19-24 m ³	290 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de hormigón desde planta, por carretera, en camión hormigonera de 300 kw y 9 m ³	770 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de acero para armaduras, por carretera, en camión de transporte general	180 gCO ₂ e/t-km
Transporte de mezcla bituminosa, por carretera, en camión rígido 355 kw y 25 m ³	330 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de hormigón desde planta, por carretera, en camión basculante de 225 kw y 10 m ³	550 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de material dragado, por vía marítima, en cántara de gánguil de 1.000 kw y 900 m ³	90 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de material dragado, por vía marítima, en cántara de draga de 2000 kw y 2.550 m ³	70 gCO ₂ e/m ³ -km
Transporte de cajón por vía marítima con remolcador de 1.500 kw, incluido botadura y fondeo	230 kgCO ₂ e/u-km

Conviene tener presente que a las emisiones anteriores habría que añadir – cuando puedan ser significativas – las emisiones debidas a la movilización, transporte y montaje de determinados equipos hasta el emplazamiento de la obra (dragas, gánguiles, grúas de grandes dimensiones, cajoneros, equipos para enrasar, etc.) o a la instalación *in situ* de plantas de fabricación (de hormigón y/o hormigón en bloques, por ejemplo).

I.4.3. EMISIONES ASOCIADAS AL EMPLEO DE MAQUINARIA Y OTRAS INSTALACIONES AUXILIARES EN EL EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA

Para el cálculo a nivel de proyecto de las emisiones atribuibles al empleo de maquinaria *off-road* y al funcionamiento de otras instalaciones auxiliares durante la ejecución de la obra se puede partir, en general, de la definición de un número limitado de unidades de obra cuyas emisiones resulten habitualmente significativas.

Las emisiones se obtendrán de multiplicar la cuantía de cada una de estas unidades de obra por un factor de emisiones asociado a su ejecución. Este factor de emisiones se calculará considerando la relación de maquinaria necesaria para la ejecución de la unidad de obra, su potencia y su rendimiento medio por unidad de obra ejecutada. El cuadro I.18 muestra un ejemplo.

Cuadro I.18
Ejemplo de cálculo del factor de emisiones asociado a la ejecución de una unidad de obra

Unidad de obra:	M³ de colocación de escollera de peso inferior a 3 t en un dique portuario en talud, ejecutado por medios terrestres	
Maquinaria empleada:	6 h	Bulldozer (260 kW)
	6 h	Retroexcavadora de brazo largo sobre orugas (345 kW)
	12 h	Grúa de celosía sobre cadenas con bandeja de escollera (300 kW)
Rendimiento:	700 m ³ /día	
Factor de emisiones:	6,1 kgCO ₂ e/m ³	en el supuesto de que, en promedio, se utilice un 60% de la potencia máxima de cada máquina, y que por cada kWh se consuman 254 gr de gasóleo A

Anejo I.A. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO ATRIBUIBLE A LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS PORTUARIAS

Este Anejo incluye – a modo de ejemplo - la evaluación de la huella de carbono atribuible a la construcción de varios tipos de obras típicamente marítimas, tomando como referencia las tipologías de obras incluidas en el *Observatorio de Obras Portuarias* ^[13] de Puertos del Estado. Las obras evaluadas – definidas por medio de su sección tipo – son siete: tres diques en talud, un dique vertical, dos muelles de cajones y un muelle de pilotes.

I.A.1. EL OBSERVATORIO DE PRECIOS DE OBRAS PORTUARIAS PUBLICADO POR PUERTOS DEL ESTADO

El *Observatorio de Obras Portuarias* publicado por Puertos del Estado pretende sistematizar y hacer accesible el conocimiento sobre los costes medios de las unidades de obra marítima más relevantes, a través de una extensa recopilación de costes unitarios utilizados en distintos proyectos y de su tratamiento estadístico. El Observatorio valora además un total de nueve secciones tipo de obras marítimas con los precios medios obtenidos en el estudio.

Para la realización del documento del Observatorio se han seleccionado, de entre todos los proyectos informados por Puertos del Estado en el periodo 2006-2013, un total de 136 proyectos. En los casos en que no se han encontrado muestras suficientes de ciertas unidades de obra en los proyectos estudiados, se ha incorporado información de dichas unidades del anterior Observatorio de Obras Portuarias, del año 2006.

El *Observatorio de Obras Portuarias* constituye, pues, un documento de referencia para estimar el coste de una obra marítima a efectos de su planificación, sin pretender con ello sustituir la justificación de precios que todo proyecto requiere, pues las variaciones de los mismos con respecto a los precios unitarios que se incluyen en el Observatorio pueden ser muy relevantes en función de factores de difícil consideración apriorística, tales como la propia medición de la unidad a ejecutar, la proximidad a la obra de una cantera en el caso de escolleras, o la movilización de maquinaria específica en el caso de un dragado o de la fabricación de cajones. Factores adicionales, como la insularidad o las características específicas de protección medioambiental en el entorno de un puerto, pueden suponer asimismo desviaciones importantes respecto de los precios medios unitarios que se indican. Conviene tener presente, además, que los costes reales de las obras analizadas en el Observatorio están íntimamente relacionados con la solución técnica adoptada en cada caso, no siendo extrapolables de forma directa a cualquier proyecto: así, por ejemplo, en igualdad de todos los demás parámetros, la necesidad de un tratamiento de mejora del terreno puede incrementar notablemente el coste total de un muelle respecto de otro cimentado directamente sobre terreno competente.

I.A.2. DESCRIPCIÓN DE LAS SECCIONES TIPO VALORADAS

Las siete secciones tipo del Observatorio para las que se ha estimado su huella de carbono son las siguientes:

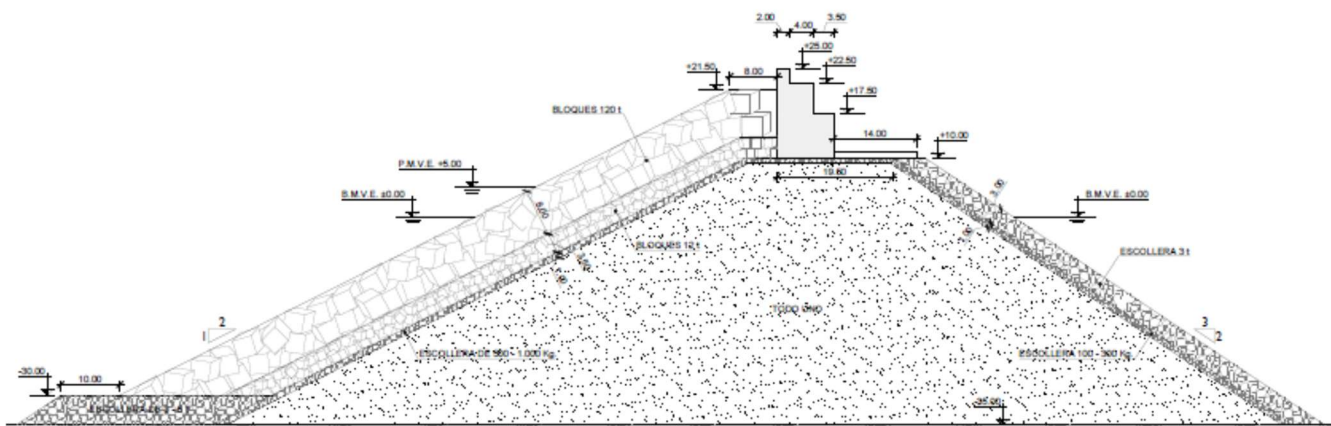
- Sección tipo 1: Dique en talud con manto de bloques de 120 t con fondo a -35 m.
- Sección tipo 2: Dique en talud con manto de bloques de 60 t con fondo a -10 m.
- Sección tipo 3: Dique en talud con manto de bloques de 60 t con fondo a -20 m.
- Sección tipo 4: Dique vertical con cimentación a cota -20 m.
- Sección tipo 5: Muelle de cajones de 18 m de altura.
- Sección tipo 6: Muelle de cajones de 25,5 m de altura.

□ Sección tipo 7: Muelle de pilotes de 21 m de altura.

Las figuras I.B.1 a I.B.7 reproducen los planos de las diferentes secciones tipo y las mediciones de las unidades de obra por metro lineal correspondientes, según figuran en el documento del Observatorio. En el caso de los muelles, se ha valorado además 300 m de explanada adosada independientemente del metro lineal de muelle, en algunos casos con firme flexible y en otros con firme rígido.

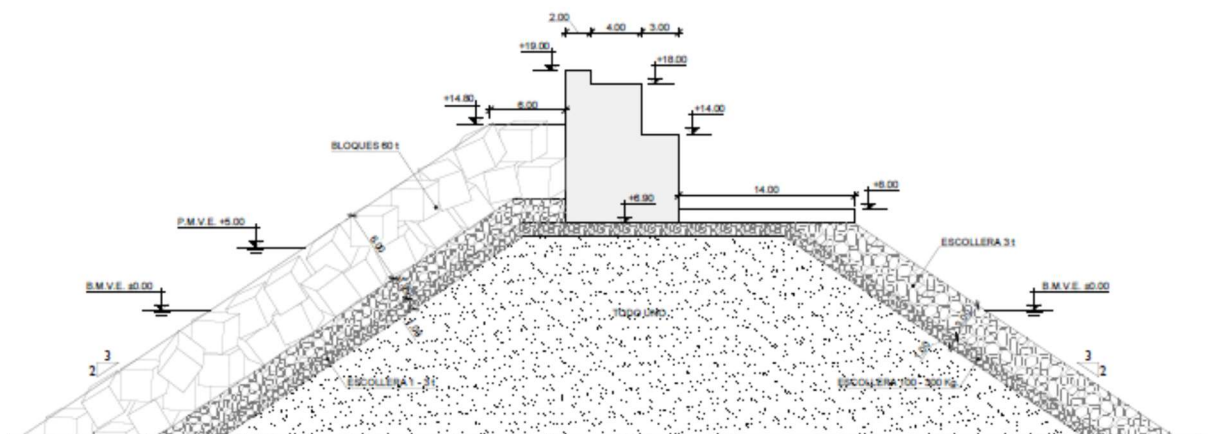
Figura I.B.1

Plano y mediciones de la Sección tipo 1: Dique en talud con manto de bloques de 120 t con fondo a -35 m



Código		Descripción	Medición
02-002	m ³	Escollera clasificada de peso entre 100-300 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	81,13
02-005	m ³	Escollera clasificada de peso entre 500-1000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos	78,26
02-006	m ³	Escollera clasificada de peso entre 500-1000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios terrestres	44,86
02-009	m ³	Escollera clasificada de peso entre 3000-5000 kg, suministro, transporte y colocación en manto de dique y/o filtros por medios marítimos o terrestres	421,04
03-001	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios marítimos	4.094,87
03-002	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios terrestres	359,97
12-001	m ³	Hormigón en bloques de peso <15 Tn, fabricación, transporte y colocación por medio marítimo	140,87
12-002	m ³	Hormigón en bloques de peso <15 Tn, fabricación, transporte y colocación por medio terrestre	67,14
12-006	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 100-150 Tn, transporte y colocación por medios terrestres	543,69
14-005	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	106,25
14-006	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	14,00

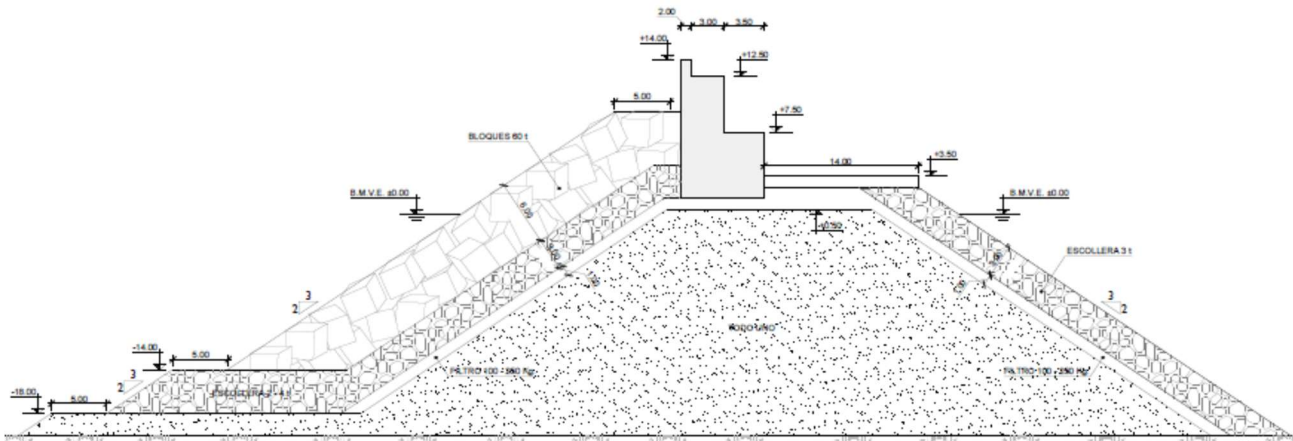
Figura I.B.2
Plano y mediciones de la Sección tipo 2: Dique en talud con manto de bloques de 60 t con fondo a -10 m



Código	Descripción		Medición
02-002	m ³	Escollera clasificada de peso entre 100-300 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	80,03
02-008	m ³	Escollera clasificada de peso entre 2000-3000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	68,54
02-009	m ³	Escollera clasificada de peso entre 3000-5000 kg, suministro, transporte y colocación en manto de dique y/o filtros por medios marítimos o terrestres	91,40
03-002	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios terrestres	706,66
12-005	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 60-100 Tn, transporte y colocación por medios terrestres	159,81
14-005	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	89,90
14-006	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	15,40

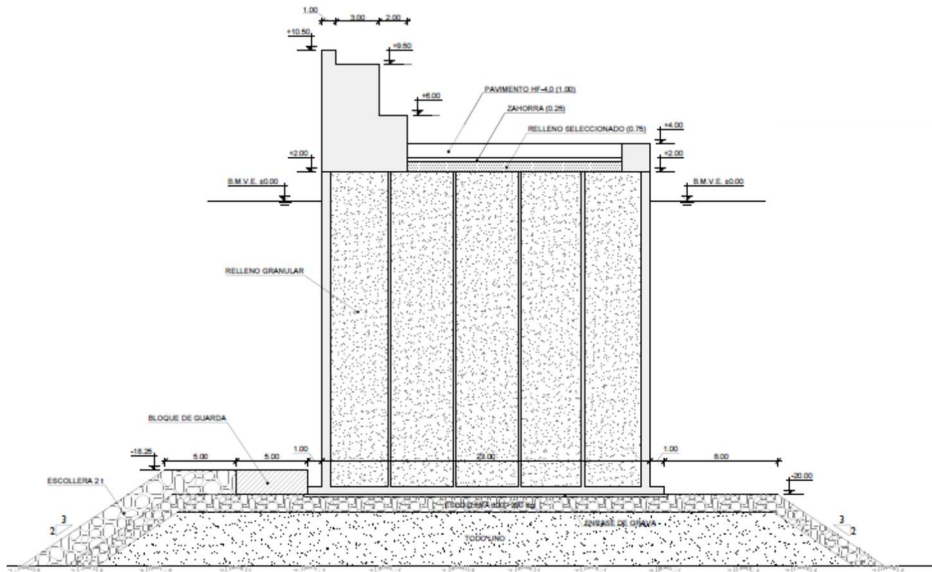
Figura I.B.3

Plano y mediciones de la Sección tipo 3: Dique en talud con manto de bloques de 60 t con fondo a -20 m



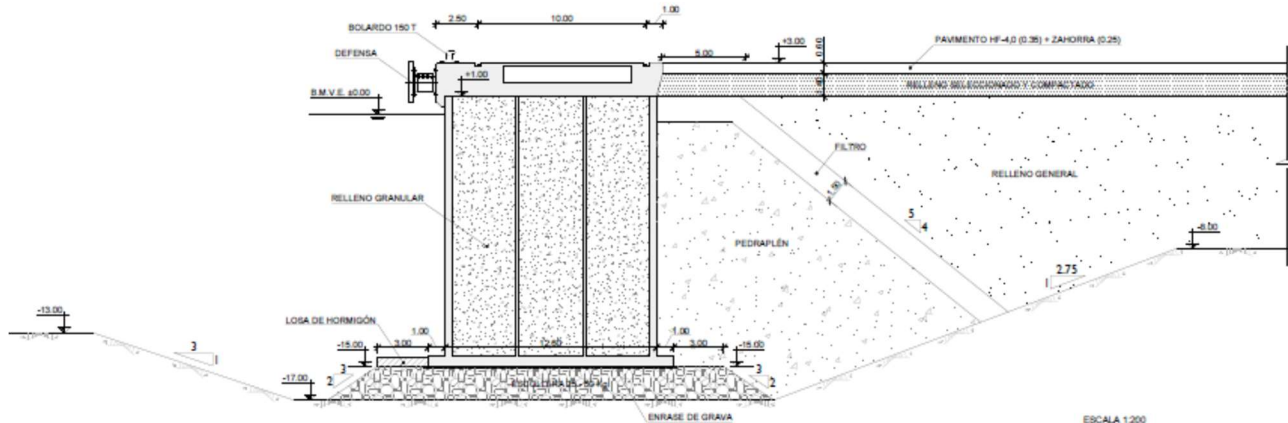
Código	Descripción		Medición
02-002	m ³	Escollera clasificada de peso entre 100-300 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	100,24
02-008	m ³	Escollera clasificada de peso entre 2000-3000 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	182,43
02-009	m ³	Escollera clasificada de peso entre 3000-5000 kg, suministro, transporte y colocación en manto de dique y/o filtros por medios marítimos o terrestres	121,67
03-001	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios marítimos	951,57
03-002	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios terrestres	113,57
12-005	m ³	Hormigón en bloques de peso entre 60-100 Tn, transporte y colocación por medios terrestres	147,32
14-005	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	66,50
14-006	m ³	Hormigón en masa HM-30 colocado en losas o cimientos, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	14,00

Figura I.B.4
Plano y mediciones de la Sección tipo 4: Dique vertical con cimentación a cota -20 m



Código	Descripción		Medición
02-012	m ³	Escollera clasificada de peso entre 100-500 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banquetta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres	69,57
02-015	m ³	Escollera clasificada de peso > 2000 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banquetta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres	26,77
03-004	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación de núcleo de banquetta de cimentación, medido en báscula y ejecutado por medios marítimos	180,19
04-005	m ³	Relleno seleccionado en coronación de cajones, extendido y compactado de procedencia terrestre	11,25
04-006	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado procedente de dragado	233,22
04-007	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado de procedencia terrestre	233,22
06-001	m ³	Enrase con grava en banquetta de cimentación de cajones o muros de muelle por medios marítimos	25,60
12-012	m ³	Hormigón en bloques de guarda de hormigón, transporte y colocación	8,75
13-002	m ³	Hormigón para armar HA-35 colocado en cajones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	83,35
13-004	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	4,00
13-006	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en alzados o espaldones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	39,00
16-002	Kg	Aceros en redondos B500S para armado de cajones de hormigón, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	8.335,00
16-003	kg	Aceros en redondos B500S para armado en superestructura, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	360,00
17-001	Ud	Botadura, transporte y fondeo de cajones, incluso fondeos intermedios provisionales	0,02
17-003	Ud	Junta entre cajones, incluyendo tubo de PVC, relleno de hormigón del tubo y relleno de material granular de la junta. (Puntal entre 14-25m)	0,02
21-001	m ³	Zahorra artificial en formación de base, extendida y compactada	3,75
21-013	m ³	Pavimento de hormigón HF-4,0 para tráfico pesado, tamaño de árido de 40 mm, resistencia característica a flexión >= 4 Mpa, incluso adquisición, transporte, vertido, extendido, vibrado mecánico, encofrado, curado, desencofrado, juntas de construcción efectuadas mediante fresno, replanteo y nivelación de la superficie acabada	15,00

Figura I.B.5
Plano y mediciones de la Sección tipo 5: Muelle de cajones de 18 m de altura



Código		Descripción	Medición
Muelle			
01-002	m ³	Dragado en terreno suelto, en zanja de cimentación, carga, transporte y vertido	159,70
02-001	m ³	Escollera clasificada de peso <=100 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	36,68
02-011	m ³	Escollera clasificada de peso <=100 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres	47,05
04-006	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado procedente de dragado	87,78
04-007	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado de procedencia terrestre	87,78
05-001	m ³	Pedraplén colocado en trasdós de cajones o muelle de bloques o tablestacas ejecutado por medios terrestres	23,31
05-002	m ³	Pedraplén colocado en trasdós de cajones o muelle de bloques o tablestacas ejecutado por medios marítimos	167,14
06-001	m ³	Enrase con grava en banqueta de cimentación de cajones o muros de muelle por medios marítimos	15,20
12-012	m ³	Hormigón en bloques de guarda de hormigón, transporte y colocación	1,50
13-001	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en cajones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	37,45
13-004	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	19,20
16-002	Kg	Aceros en redondos B500S para armado de cajones de hormigón, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	3.745,00
16-003	Kg	Aceros en redondos B500S para armado en superestructura, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	1.728,00
17-001	Ud	Botadura, transporte y fondeo de cajones, incluso fondeos intermedios provisionales	0,04
17-003	Ud	Junta entre cajones, incluyendo tubo de PVC, relleno de hormigón del tubo y relleno de material granular de la junta. (Puntal entre 14-25m)	0,04
Varios			
04-005	m ³	Relleno seleccionado en coronación de cajones, extendido y compactado de procedencia terrestre	7,60
22-004	Ud	Bolardo de 150-200 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio	0,05
24-010	Ud	Defensa doble tipo SC entre SC-1200 y SC-2000, totalmente instalada	0,05
26-002	m	Suministro y montaje de carril de 54 kg/ml, para grúas incluso p.p. de bridas, pernos, tornillos, separadores y demás accesorios, según planos, completamente colocado	2,00

Figura I.B.5 (Continuación)
Plano y mediciones de la Sección tipo 5: Muelle de cajones de 18 m de altura

Código		Descripción	Medición
Explanada			
04-001	m ³	Relleno general de la explanada procedente de dragado	426,44
04-002	m ³	Relleno general de la explanada de procedencia terrestre	426,44
04-004	m ³	Relleno seleccionado en coronación de explanada, extendido y compactado de procedencia terrestre	419,03
Pavimento			
21-001	m ³	Zahorra artificial en formación de base, extendida y compactada	74,65
21-013	m ³	Pavimento de hormigón HF-4,0 para tráfico pesado, tamaño de árido de 40 mm, resistencia característica a flexión ≥ 4 Mpa, incluso adquisición, transporte, vertido, extendido, vibrado mecánico, encofrado, curado, desencofrado, juntas de construcción efectuadas mediante fresno, replanteo y nivelación de la superficie acabada	104,51

Figura I.B.6
Plano y mediciones de la Sección tipo 6: Muelle de cajones de 25,5 m de altura

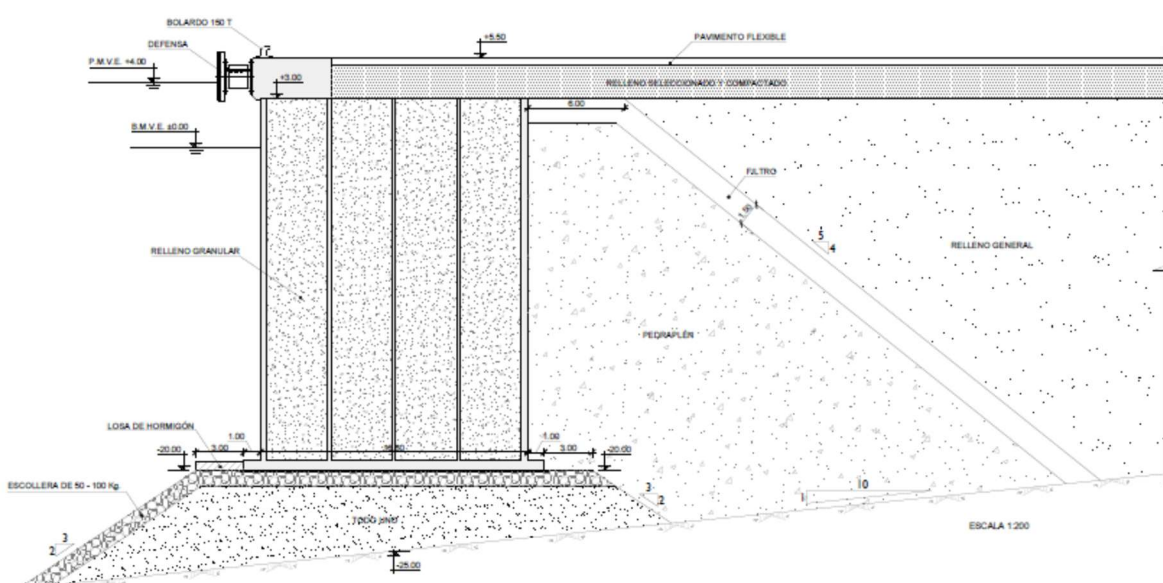
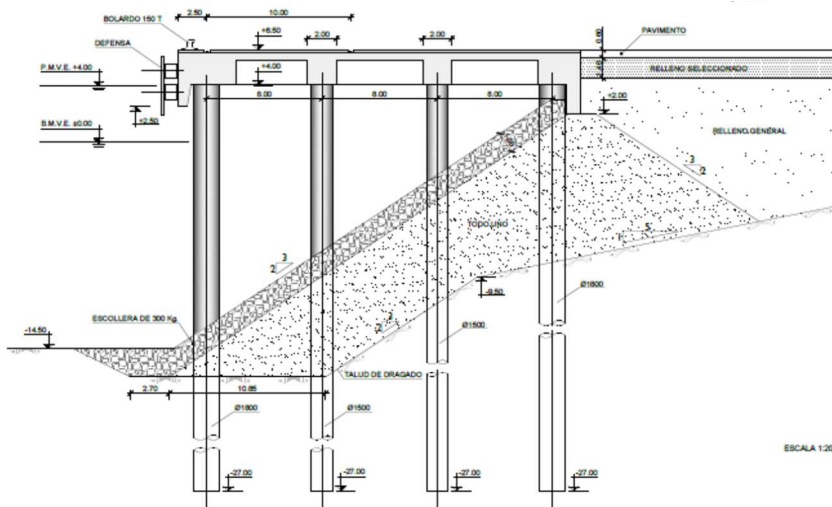


Figura I.B.6 (Continuación)
Plano y mediciones de la Sección tipo 6: Muelle de cajones de 25,5 m de altura

Código	Descripción		Medición
Muelle			
02-001	m ³	Escollera clasificada de peso <=100 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos o terrestres	63,77
02-011	m ³	Escollera clasificada de peso <=100 kg, suministro, transporte y colocación en núcleo o manto de banqueta de cimentación de cajones por medios marítimos o terrestres	35,77
03-004	m ³	Todo uno de cantera, colocado en formación de núcleo de banqueta de cimentación, medido en báscula y ejecutado por medios marítimos	129,38
04-006	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado procedente de dragado	170,24
04-007	m ³	Relleno granular en celdas de cajones, incluso suministros, transporte y vertido, totalmente acabado de procedencia terrestre	170,24
05-001	m ³	Pedraplén colocado en trasdós de cajones o muelle de bloques o tablestacas ejecutado por medios terrestres	49,01
05-002	m ³	Pedraplén colocado en trasdós de cajones o muelle de bloques o tablestacas ejecutado por medios marítimo	414,88
06-001	m ³	Enrase con grava en banqueta de cimentación de cajones o muros de muelle por medios marítimos	19,20
12-012	m ³	Hormigón en bloques de guarda de hormigón, transporte y colocación	1,50
13-001	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en cajones, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	62,09
13-004	m ³	Hormigón para armar HA-30 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	12,15
16-002	Kg	Aceros en redondos B500S para armado de cajones de hormigón, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	6.209,00
16-003	Kg	Aceros en redondos B500S para armado en superestructura, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	1.093,50
17-001	Ud	Botadura, transporte y fondeo de cajones, incluso fondeos intermedios provisionales	0,03
17-002	Ud	Junta entre cajones, incluyendo tubo de PVC, relleno de hormigón del tubo y relleno de material granular de la junta. (Puntal 14-25m)	0,03
Varios			
22-004	Ud	Bolardo de 150-200 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio	0,05
24-010	Ud	Defensa doble tipo SC entre SC-1200 y SC-2000, totalmente instalada	0,05
Explanada			
04-001	m ³	Relleno general de la explanada procedente de dragado	1.633,73
04-002	m ³	Relleno general de la explanada de procedencia terrestre	1.633,73
04-004	m ³	Relleno seleccionado en coronación de explanada, extendido y compactado de procedencia terrestre	605,98
Pavimento			
21-001	m ³	Zahorra artificial en formación de base, extendida y compactada	78,05
21-016	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 32 BASE G, según denominación UNE-EN 13108, en capa base, extendida y compactada, incluido riego asfáltico, filler de aportación y betún. Completamente terminado. Espesor 8 cm.	24,98
21-017	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 22 BIN S, según denominación UNE-EN 13108, en capa intermedia, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado. Espesor 8 cm.	18,73
21-019	m ³	Suministro y puesta en obra de M.B.C. tipo AC 16 SURF S, según denominación UNE-EN 13108, en capa de rodadura, incluido fabricación, preparación de superficie, extendido y compactación, filler de aportación y betún asfáltico. Completamente terminado. Espesor 6 cm.	18,73

Figura I.B.7

Plano y mediciones de la Sección tipo 7: Muelle de pilotes de 21 m de altura



Código	Descripción	Medición
Muelle		
01-001	m ³ Dragado general en terreno suelto, carga, transporte y vertido	77,85
02-003	m ³ Escollera clasificada de peso entre 250-500 kg, suministro, transporte y colocación en manto y/o filtros por medios marítimos	59,32
03-002	m ³ Todo uno de cantera, colocado en formación del núcleo del dique ejecutado por medios terrestres	245,50
13-005	m ³ Hormigón para armar HA-35 colocado en superestructura, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	42,78
13-009	m ³ Hormigón para armar HA-30 colocado en losas o cimientas, incluso encofrado, desencofrado, vibrado y curado	5,60
16-003	Kg Aceros en redondos B500S para armado en superestructura, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	4.277,86
16-004	Kg Aceros en redondos B500S para armado en pilotes, incluso cortado, doblado, p.p. de recortes y ataduras	3.011,43
18-008	m Pilote fabricado "in situ" d= 1,5 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura, por medios marítimos	8,68
18-011	m Pilote fabricado "in situ" d= 1,8 m, incluyendo excavación y hormigonado excluida armadura	8,68
Varios		
22-003	Ud Bolardo de 100-150 Tn de tiro nominal totalmente colocado, incluso pernos de anclaje y demás elementos necesarios para su perfecta puesta en servicio	0,05
24-007	Ud Defensa tipo SC entre SC-1500 y SC-2000, totalmente instalada	0,05
26-002	m Suministro y montaje de carril de 54 kg/ml, para grúas incluso p.p. de bridas, pernos, tornillos, separadores y demás accesorios, según planos, completamente colocado	2,00
Explanada		
04-002	m ³ Relleno general de la explanada de procedencia terrestre	1.419,04
04-004	m ³ Relleno seleccionado en coronación de explanada, extendido y compactado de procedencia terrestre	420,00
Pavimento		
21-001	m ³ Zahorra artificial en formación de base, extendida y compactada	75,00
21-013	m ³ Pavimento de hormigón HF-4,0 para tráfico pesado, tamaño de árido de 40 mm, resistencia característica a flexión >= 4 Mpa, incluso adquisición, transporte, vertido, extendido, vibrado mecánico, encofrado, curado, desencofrado, juntas de construcción efectuadas mediante fresno, replanteo y nivelación de la superficie acabada	105,00

I.A.3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES A LA CONSTRUCCIÓN DE CADA SECCIÓN TIPO

I.A.3.1. Emisiones asociadas a la producción de materiales

La tabla I.B.8 muestra las cantidades de materiales que se prevé utilizar en la construcción de un metro lineal de cada sección tipo de acuerdo con las mediciones indicadas en el apartado I.B.2, y el resultado de multiplicar estas cantidades por las emisiones asociadas a la producción de cada unidad de material, considerando los valores de referencia de la tabla I.16 de esta Guía. La huella de carbono atribuible a la producción y uso de materiales en juntas entre cajones y a bolardos y defensas se supone despreciable.

Tabla I.B.8
Emisiones *cradle-to-gate* asociadas a la producción de materiales por metro lineal de obra portuaria

Material		Sección tipo 1	Sección tipo 2	Sección tipo 3	Sección tipo 4	Sección tipo 5	Sección tipo 6	Sección tipo 7
Todo-uno de cantera	Medición (m ³)	4.454,84	706,66	1.065,14	180,19	-	129,38	245,50
	Emisiones (tCO ₂ eq)	26,73	4,24	6,39	1,08	-	0,78	1,47
Escollera clasificada	Medición (m ³)	625,29	239,97	404,34	96,34	83,73	99,54	59,32
	Emisiones (tCO ₂ eq)	9,75	3,74	6,31	1,50	1,31	1,55	0,93
Relleno en celdas de cajones procedente de cantera	Medición (m ³)	-	-	-	-	87,78	170,24	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,53	1,02	-
Relleno general de explanada procedente de préstamo terrestre	Medición (m ³)	-	-	-	233,22	426,44	1.633,73	1.419,04
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,42	0,77	2,94	2,55
Relleno seleccionado en coronación de cajones o explanada procedente de préstamo terrestre	Medición (m ³)	-	-	-	11,25	426,63	605,98	420,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,02	0,77	1,09	0,76
Grava en banqueta de cimentación de cajones	Medición (m ³)	-	-	-	25,60	15,20	19,20	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,62	0,37	0,46	-
Pedraplén colocado en trasdós de cajones	Medición (m ³)	-	-	-	-	190,45	463,89	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	1,14	2,78	-
Zahorra artificial en formación de base	Medición (m ³)	-	-	-	3,75	74,65	78,05	75,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,09	1,81	1,89	1,81
Hormigón en masa, incluido el hormigón en bloques	Medición (m ³)	871,95	265,11	227,82	8,75	1,50	1,50	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	248,51	75,56	64,93	2,49	0,43	0,43	-
Hormigón para armar	Medición (m ³)	-	-	-	126,35	56,65	74,24	85,81
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	41,70	18,69	24,50	28,32
Acero para armadura	Medición (kg)	-	-	-	8.695,00	5.473,00	7.302,50	7.289,29
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	12,17	7,66	10,22	10,21
Mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso	Medición (m ³)	-	-	-	-	-	62,44	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	-	11,24	-
Hormigón en pavimento	Medición (m ³)	-	-	-	15,00	104,51	-	105,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	5,32	37,10	-	37,27
Suma de emisiones (tCO₂eq)		284,99	83,54	77,63	65,41	70,58	58,90	83,32

I.A.3.2. Emisiones asociadas al empleo de maquinaria en el emplazamiento de la obra

Para estimar las emisiones producidas por el empleo de maquinaria y otras instalaciones auxiliares en el emplazamiento de la obra se ha partido de una relación de unidades de obra más limitada que la incluida en el *Observatorio de Obras Portuarias*. La tabla I.B.9 indica cuál es la relación de unidades de obra considerada y su correspondencia con las unidades de obra definidas por el Observatorio.

Tabla I.B.9
Emisiones medias *well-to-wheel* por unidad de obra en infraestructuras portuarias

Correspondencia Observatorio	Unidad de obra	Emisiones
Dragados		
01-001 04-006 04-001	Dragado mediante draga de succión en marcha (extracción y vertido)	2,4 kgCO ₂ eq/m ³
01-002	Dragado mediante draga estacionaria (extracción y vertido)	3,9 kgCO ₂ eq/m ³
Escolleras y movimientos de tierras		
03-001 03-004	Vertido de todo-uno de cantera en núcleo de dique o de banquetta de cimentación, ejecutado por medios marítimos	1,9 kgCO ₂ eq/m ³
02-003 02-005	Vertido de escollera en talud o banquetta de cajones, ejecutado por medios marítimos	2,9 kgCO ₂ eq/m ³
12-001	Colocación de escollera de peso superior a 3 t en talud, ejecutado por medios marítimos	30,9 kgCO ₂ eq/m ³
03-002	Colocación de todo-uno de cantera en núcleo de dique, ejecutado por medios terrestres	1,6 kgCO ₂ eq/m ³
02-006	Colocación de escollera de peso inferior a 3 t en talud, ejecutado por medios terrestres	6,1 kgCO ₂ eq/m ³
12-002	Colocación de escollera de peso superior a 3 t en talud, ejecutado por medios terrestres	8,5 kgCO ₂ eq/m ³
12-001 12-002 12-005 12-006 12-012	Fabricación <i>in situ</i> de bloques de hormigón y acopio	16,0 kgCO ₂ eq/m ³
12-005 12-006 12-012	Colocación por medio terrestre de bloques de hormigón fabricados <i>in situ</i>	9,0 kgCO ₂ eq/m ³
05-002	Vertido de escollera, pedraplén o todo-uno de cantera en trasdós de muelle, ejecutado por medios marítimos	3,5 kgCO ₂ eq/m ³
05-001	Colocación de escollera, pedraplén o todo-uno de cantera en trasdós de muelle, ejecutado por medios terrestres	0,3 kgCO ₂ eq/m ³
04-007	Relleno granular en celdas de cajones, ejecutado por medios terrestres	0,6 kgCO ₂ eq/m ³
06-001	Enrase con grava en cimentación, ejecutado por medios marítimos con el auxilio de buzos	2,9 kgCO ₂ eq/m ³
04-002	Extensión y compactación de relleno general en explanada	0,2 kgCO ₂ eq/m ³
04-004 04-005	Colocación y compactación de relleno seleccionado y de todo-uno de cantera en coronación de explanada y cajones	0,5 kgCO ₂ eq/m ³
Estructura de muelle y/o dique		
13-001 13-002	Colocación de hormigón en la fabricación de cajón de hormigón armado	32,4 kgCO ₂ eq/m ³
18-011	Pilote fabricado <i>in situ</i> desde una plataforma terrestre (excluida la ejecución y retirada de mota provisional)	65 kgCO ₂ eq/m
18-008	Pilote fabricado <i>in situ</i> desde medios flotantes	100 kgCO ₂ eq/m
13-004 13-005 13-006 13-009 14-005 14-006	Colocación de hormigón en masa o para armar en superestructura de diques y muelles	13,3 kgCO ₂ eq/m ³
Pavimentación		
17-003 21-001	Extensión y compactación de zahorra en base y sub-base	4,5 kgCO ₂ eq/m ³
21-013	Construcción de pavimento de hormigón (Ref. HF-4,0)	3,2 kgCO ₂ eq/m ³
21-016 21-017 21-019	Extensión y compactación de mezcla bituminosa en caliente	5,4 kgCO ₂ eq/m ³

La tabla I.B.9 incluye también un orden de magnitud de las emisiones *well-to-wheel* asociadas al empleo de maquinaria *in situ* (dragas, barcazas, grúas, excavadoras, remolcadores, etc.) durante la ejecución de cada unidad de obra. Los valores han sido estimados definiendo una composición característica de la maquinaria necesaria para realizar cada unidad de obra (tipo de máquina y potencia) y suponiendo un rendimiento medio para su ejecución. Dicha composición y rendimiento han sido estimados sobre la base de la experiencia de Puertos del Estado, parcialmente recogida en su *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas*^[14].

Al definir la maquinaria empleada para la ejecución de las unidades de obra se ha supuesto que, en todos los casos en que se emplean áridos procedentes de cantera, éstos se suministran directamente a la unidad de obra, sin acopios intermedios o en obra; cuando se emplea material procedente de dragado, éste se obtiene mediante draga de succión en marcha y se vierte directamente a través de tubería. En caso de emplear embarcaciones, se ha considerado que los motores funcionan con un factor de carga del 80% durante el tiempo de navegación y del 30% cuando no navegan, y que por cada kWh de potencia consumida se consumen 205 gr de gasóleo marino. Cuando se emplea maquinaria no marítima, el cálculo de cada factor se ha realizado suponiendo que, en promedio, se utiliza un 60% de la potencia máxima de la maquinaria, y que por cada kWh de potencia consumida se consumen 254 gr de combustible diésel.

Por supuesto, para el cálculo de la huella de carbono atribuible a un proyecto concreto de infraestructura portuaria será preferible, siempre que sea posible, emplear factores de emisión específicos estimados en función de la organización de la obra (establecimiento de acopios de materiales, instalación de plantas de fabricación *in situ*, etc.) y de las características de los equipos (tipo, potencia, rendimiento) que se vayan a emplear realmente en la misma. También es aconsejable recurrir a factores de emisión específicos para aquellas unidades de obra en que las variaciones de sus emisiones pueden ser muy relevantes en función de factores de difícil consideración apriorística, como - por ejemplo - la dificultad de movilización de maquinaria específica en el caso de un dragado o de la fabricación de cajones, o la disposición de acopios intermedios y en obra.

La tabla I.B.10 muestra las cantidades de unidades de obra (tal como se definen en la tabla I.B.9) que se prevé utilizar en la construcción de un metro lineal de cada sección tipo de acuerdo con las mediciones incluidas en el apartado I.B.2, y el resultado de multiplicar estas cantidades por las emisiones atribuibles a la ejecución de cada unidad de obra, según figura en la tabla I.B.9. Al realizar los cálculos se ha tenido en cuenta los siguientes supuestos:

- Un número limitado de unidades de obra del Observatorio no aparecen indicadas en la tabla I.B.9. Son algunas unidades de escollera en talud (códigos 02-001, 02-002, 02-008 y 02-009) o en banqueta de cimentación de cajones (02-011, 02-012 y 02-015), en las que el Observatorio no diferencia entre colocación por medios marítimos y terrestres por razón de precio unitario, aunque sí es aconsejable hacerlo por motivo de la cantidad de emisiones asociada a una y otra forma de puesta en obra. Para estas unidades se ha supuesto, al realizar los cálculos, que la mitad de la ejecución de las unidades de escollera en talud se realiza por medios marítimos y la otra mitad por medios terrestres; en escolleras para banqueta de cajones, se ha considerado que la totalidad de la unidad de obra se ejecuta por medios marítimos.
- Las unidades de obra del Observatorio referidas a bloques de hormigón (con los dos primeros dígitos iguales a 12) se han desglosado sistemáticamente en una unidad de obra de '*Fabricación in situ de bloques de hormigón y acopio*' y otra de '*Colocación de bloques de hormigón fabricados in situ*' (por medios marítimos o terrestres, según proceda). Se exceptúa la colocación de bloques de hormigón de peso inferior a 15 toneladas (códigos 12-001 y 12-002), que - junto con la fabricación del bloque - se ha asimilado a la unidad de obra '*Colocación de escollera de peso superior a 3 t en talud*'.
- Se ha despreciado las emisiones asociadas a las unidades correspondientes a la colocación del equipamiento de muelle (bolardos y defensas) y a la ejecución de juntas entre cajones.

Tabla I.B.10

Emisiones asociadas al empleo de maquinaria en el emplazamiento de la obra por metro lineal de obra portuaria

Unidad de obra		Sección tipo 1	Sección tipo 2	Sección tipo 3	Sección tipo 4	Sección tipo 5	Sección tipo 6	Sección tipo 7
Dragado mediante draga de succión en marcha (extracción y vertido)	Medición (m ³)	-	-	-	233,32	514,22	1.803,97	77,85
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,56	1,23	4,33	0,19
Dragado mediante draga estacionaria (extracción y vertido)	Medición (m ³)	-	-	-	-	159,70	-	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,62	-	-
Vertido de todo-uno de cantera en núcleo de dique o de banquetta de cimentación, ejecutado por medios marítimos	Medición (m ³)	4.094,87	-	951,57	180,19	-	129,38	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	7,78	-	1,81	0,34	-	0,25	-
Vertido de escollera en talud o banquetta de cajones, ejecutado por medios marítimos	Medición (m ³)	118,83	74,28	141,34	48,17	41,86	49,77	59,32
	Emisiones (tCO ₂ eq)	0,34	0,22	0,41	0,14	0,12	0,14	0,17
Colocación de escollera de peso superior a 3 t en talud, ejecutado por medios marítimos	Medición (m ³)	351,39	45,70	60,84	-	-	-	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	10,86	1,41	1,88	-	-	-	-
Colocación de todo-uno de cantera en núcleo de dique, ejecutado por medios terrestres	Medición (m ³)	359,97	706,66	113,57	-	-	-	245,50
	Emisiones (tCO ₂ eq)	0,58	1,13	0,18	-	-	-	0,39
Colocación de escollera de peso inferior a 3 t en talud, ejecutado por medios terrestres	Medición (m ³)	85,42	74,28	141,34	48,17	41,86	49,77	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	0,52	0,45	0,86	0,29	0,26	0,30	-
Colocación de escollera de peso superior a 3 t en talud, ejecutado por medios terrestres	Medición (m ³)	277,66	45,70	60,84	-	-	-	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	2,36	0,39	0,52	-	-	-	-
Fabricación <i>in situ</i> de bloques de hormigón y acopio	Medición (m ³)	751,70	159,81	147,32	8,75	1,50	1,50	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	12,03	2,56	2,36	0,14	0,02	0,02	-
Colocación por medio terrestre de bloques de hormigón fabricados <i>in situ</i>	Medición (m ³)	543,69	159,81	147,32	8,75	1,50	1,50	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	4,89	1,44	1,33	0,08	0,01	0,01	-
Colocación de escollera, pedraplén o todo-uno de cantera en trasdós de muelle, por medios marítimos	Medición (m ³)	-	-	-	-	167,14	414,88	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,58	1,45	-
Colocación de escollera, pedraplén o todo-uno de cantera en trasdós de muelle, por medios terrestres	Medición (m ³)	-	-	-	-	23,31	49,01	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,01	0,01	-
Relleno granular en celdas de cajones, ejecutado por medios terrestres	Medición (m ³)	-	-	-	233,22	-	170,24	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,14	-	0,10	-
Enrase con grava en cimentación, ejecutado por medios marítimos con el auxilio de buzos	Medición (m ³)	-	-	-	25,60	15,20	19,20	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,07	0,04	0,06	-
	Medición (m ³)	-	-	-	-	426,44	1.633,73	1.419,04

Extensión y compactación de relleno general en explanada	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,09	0,32	0,28
Colocación y compactación de relleno seleccionado y de todo-uno de cantera en coronación de explanada y cajones	Medición (m ³)	-	-	-	11,25	426,63	605,98	420,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,01	0,21	0,30	0,21
Colocación de hormigón en la fabricación de cajón de hormigón armado	Medición (m ³)	-	-	-	83,35	37,45	62,09	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	2,70	1,21	2,01	-
Pilote fabricado <i>in situ</i> desde una plataforma terrestre (excluida la ejecución y retirada de mota provisional)	Medición (m)	-	-	-	-	-	-	8,68
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	-	-	0,56
Pilote fabricado <i>in situ</i> desde medios flotantes	Medición (m)	-	-	-	-	-	-	8,68
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	-	-	0,87
Colocación de hormigón en masa o para armar en superestructura de diques y muelles	Medición (m ³)	120,25	105,30	80,50	43,00	19,20	12,15	48,38
	Emisiones (tCO ₂ eq)	1,60	1,40	1,07	0,57	0,26	0,16	0,64
Extensión y compactación de zahorra en base y sub-base	Medición (m ³)	-	-	-	3,75	74,65	78,05	75,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,02	0,34	0,35	0,34
Construcción de pavimento de hormigón (Ref. HF-4,0)	Medición (m ³)	-	-	-	15,00	104,51	-	105,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,05	0,33	-	0,34
Extensión y compactación de mezcla bituminosa en caliente	Medición (m ³)	-	-	-	-	-	62,44	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	-	0,34	-
Suma de emisiones (tCO₂eq)		40,96	9,00	10,42	5,11	5,33	10,15	3,99

Conviene tener presente que las mediciones incluidas en el apartado I.B.2 no incorporan la posible necesidad de tratamientos de mejora del terreno ni de otras actuaciones como la demolición de infraestructura existente o la colocación de suelo para precarga. La evaluación realizada tampoco tiene en cuenta que, en ocasiones, para ejecutar la infraestructura portuaria, es necesario construir otras infraestructuras auxiliares (como muelles auxiliares, cargaderos para gánguiles, diques flotantes para la construcción de cajones, explanadas para instalaciones y acopio de materiales, accesos de tráfico terrestre, etc.). Por ello, puede considerarse que las sumas de emisiones por metro lineal de sección tipo indicadas en la tabla I.B.10 se sitúan en el rango inferior de emisiones por metro lineal de obra portuaria.

I.A.3.3. Emisiones asociadas al transporte de materiales

La tabla I.B.11 muestra las cantidades de materiales que se prevé utilizar en la construcción de un metro lineal de cada sección tipo de acuerdo con las mediciones descritas en el apartado I.B.2, y las emisiones atribuibles a su transporte desde su lugar de producción hasta el recinto portuario al aplicar los valores de referencia propuestos en la tabla I.17 de esta Guía. Para el cálculo se ha supuesto que la distancia media por carretera que separa el emplazamiento de la obra de las canteras y plantas de producción es de 10 km. Se asume asimismo que el transporte de grava y zahorra artificial se realiza con camión basculante de 10 m³ y que el resto de materiales procedentes de cantera o préstamo lo hacen en camiones articulados de 19-24 m³.

En los cálculos de la tabla I.B.11 se incluye también las emisiones asociadas al transporte de material de dragado y al transporte (incluido botadura y fondeo) de cajones. En el caso de dragados, se ha supuesto que el material obtenido del dragado en zanja de cimentación (código 01-002) se transporta a vertedero marino distante 10 km mediante cántara de gánguil. Para los cajones, se ha considerado que se construyen y transportan desde instalaciones que distan 100 km de la obra, empleando en promedio 17.000 m³ de hormigón por cajón.

Aunque no se ha hecho, conviene tener presente que a las emisiones anteriores habría que añadir – cuando puedan ser significativas – las emisiones debidas a la movilización, transporte y montaje de determinados equipos hasta el emplazamiento de la obra (dragas, gánguiles, grúas de grandes dimensiones, cajoneros, equipos para enrasar, etc.) o a la instalación *in situ* de plantas de fabricación (de hormigón y/o hormigón en bloques, por ejemplo).

Tabla I.B.11
Emisiones *well-to-wheel* asociadas al transporte de materiales por metro lineal de obra portuaria

Material		Sección tipo 1	Sección tipo 2	Sección tipo 3	Sección tipo 4	Sección tipo 5	Sección tipo 6	Sección tipo 7
Todo-uno de cantera	Medición (m ³)	4.454,84	706,66	1.065,14	180,19	-	129,38	245,50
	Emisiones (tCO ₂ eq)	12,92	2,05	3,09	0,52	-	0,38	0,71
Escollera clasificada	Medición (m ³)	625,29	239,97	404,34	96,34	83,73	99,54	59,32
	Emisiones (tCO ₂ eq)	1,81	0,70	1,17	0,28	0,24	0,29	0,17
Relleno en celdas de cajones procedente de cantera	Medición (m ³)	-	-	-	-	87,78	170,24	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,25	0,49	-
Relleno general de explanada procedente de préstamo terrestre	Medición (m ³)	-	-	-	233,22	426,44	1.633,73	1.419,04
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,68	1,24	4,74	4,12
Relleno seleccionado en coronación de cajones o explanada procedente de préstamo terrestre	Medición (m ³)	-	-	-	11,25	426,63	605,98	420,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,03	1,24	1,76	1,22
Grava en banqueta de cimentación de cajones	Medición (m ³)	-	-	-	25,60	15,20	19,20	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,13	0,08	0,10	-
Pedraplén colocado en trasdós de cajones	Medición (m ³)	-	-	-	-	190,45	463,89	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,55	1,35	-
Zahorra artificial en formación de base	Medición (m ³)	-	-	-	3,75	74,65	78,05	75,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,02	0,39	0,41	0,39
Hormigón en masa, incluido el hormigón en bloques	Medición (m ³)	871,95	265,11	227,82	8,75	1,50	1,50	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	6,71	2,04	1,75	0,07	0,01	0,01	-
Hormigón para armar	Medición (m ³)	-	-	-	126,35	56,65	74,24	85,81
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,97	0,44	0,57	0,66
Acero para armadura	Medición (kg)	-	-	-	8.695,00	5.473,00	7.302,50	7.289,29
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,02	0,01	0,01	0,01
Mezcla bituminosa en caliente tipo hormigón bituminoso	Medición (m ³)	-	-	-	-	-	62,44	-
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	-	0,21	-
Hormigón en pavimento	Medición (m ³)	-	-	-	15,00	104,51	-	105,00
	Emisiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,08	0,57	-	0,58

Dragado mediante draga estacionaria	Medición (m ³)	-	-	-	-	159,70	-	-
	Emissiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	-	0,14	-	-
Transporte de cajón por vía marítima, incluido botadura y fondeo	Medición (Ud)	-	-	-	0,00490	0,00220	0,00365	-
	Emissiones (tCO ₂ eq)	-	-	-	0,11	0,05	0,08	-
Suma de emisiones (tCO₂eq)		21,44	4,79	6,01	2,91	5,21	10,4	7,86

I.A.3.4. Emisiones totales atribuibles a la construcción de las secciones tipo

La tabla I.B.12 resume los resultados obtenidos en los apartados anteriores para cada una de las secciones.

Tabla I.B.12
Huella de carbono atribuible a la construcción de obras portuarias

Sección tipo	Emisiones			
	Total (tCO ₂ eq/m)	Materiales	Transporte materiales	Puesta en obra
1: Dique en talud con manto de bloques de 120 t con fondo a -35 m	347,4	82,0%	6,2%	11,8%
2: Dique en talud con manto de bloques de 60 t con fondo a -10 m	97,3	85,9%	4,8%	9,3%
3: Dique en talud con manto de bloques de 60 t con fondo a -20 m	94,1	82,5%	6,4%	11,1%
4: Dique vertical con cimentación a cota -20 m	73,4	89,1%	3,9%	7,0%
5: Muelle de cajones de 18 m de altura	81,1	87,0%	6,4%	6,6%
6: Muelle de cajones de 25,5 m de altura	79,5	74,1%	13,1%	12,8%
7: Muelle de pilotes de 21 m de altura	95,2	87,5%	8,3%	4,2%

Los resultados obtenidos en este ejemplo de aplicación práctica son consistentes con los incluidos en las escasas referencias bibliográficas encontradas.

Bruce et al. (2009)^[15] estiman las emisiones derivadas de la construcción de diques en talud en torno a las 100±10 tCO₂eq/m y en el caso de un dique de cajones de hormigón en unas 60 tCO₂eq/m, siempre en el supuesto de fondo a -15 m. Las emisiones atribuibles a la producción de los materiales consumidos prevalecen netamente sobre las emisiones derivadas de su transporte; las emisiones asociadas a la puesta en obra se suponen de un orden de magnitud similar a las emisiones producidas por el transporte de materiales.

Las estimaciones realizadas por Broekens et al. (2011)^[16], de HR Wallingford, respecto de las emisiones atribuibles a la producción de materiales en diques a -14 m arrojan resultados similares a los obtenidos por Bruce et al., aunque con valores invertidos según se trate de un dique en talud (62,3 tCO₂eq/m) o de cajones (97,0 tCO₂eq/m). Ello es consecuencia de las hipótesis realizadas sobre los factores de emisión atribuibles a la fabricación del hormigón empleado en uno y otro tipo de dique, alejadas de los supuestos de Bruce et al. y de la aplicación realizada a las secciones tipo del Observatorio. Como en Bruce et al., las emisiones asociadas a la producción de los materiales prevalecen netamente sobre las emisiones de la puesta en obra. Por el contrario, Broekens et al. estiman que las emisiones del transporte de materiales duplican a las de producción de los materiales, y las del transporte de los cajones una vez contruidos son similares a ellas; a ello contribuye los supuestos considerados sobre la distancia entre las canteras y la obra (500 km) y entre las instalaciones para la construcción de los cajones y la obra (2.500 km).

Por último, Dudok van Heel et al. (2011)^[17] estiman en torno a algo más de 50 tCO₂e/m las emisiones correspondientes a la construcción de un muelle de pantalla de hormigón para un calado de -17m. De estas emisiones, la gran mayoría (en torno al 90%) son atribuibles a la producción de los materiales consumidos.

SEGUNDA PARTE

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE CADENAS DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS QUE PASAN POR UN PUERTO

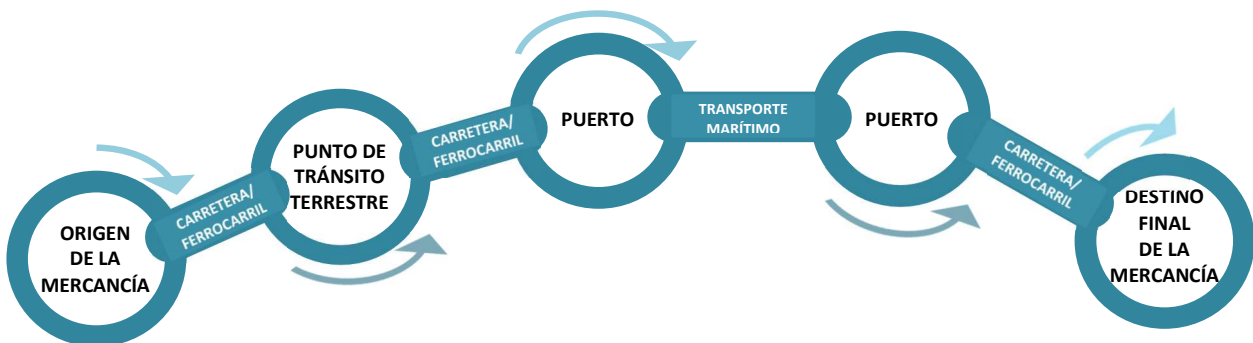
La segunda parte de esta Guía tiene por objeto facilitar el cálculo de la HC atribuible a las cadenas de transporte de mercancías, con vistas sobre todo a valorar la reducción de emisiones que puede conseguirse mediante la promoción de ciertas estrategias, como la implantación de las Autopistas del Mar, el impulso del transporte ferroviario con origen y destino en los puertos, o el fomento del empleo del gas natural licuado (GNL) en el transporte marítimo.

II.1. BASES DEL CÁLCULO

II.1.1. DELIMITACIÓN DE LA CADENA DE TRANSPORTE

A los efectos de esta Guía, una cadena de transporte vendrá definida por los puntos de origen y de destino final de la mercancía, y por un número variable de puntos de tránsito, de los cuales dos – por lo general – serán puertos. El transporte de la mercancía entre el puerto y los puntos de origen o destino de la mercancía se efectúa por carretera y/o en ferrocarril.

Tabla II.1
Esquema de una cadena de transporte de mercancías



Será habitual que - valorar la reducción de emisiones que puede conseguirse mediante la promoción de estrategias como la implantación de las Autopistas del Mar o el impulso del transporte ferroviario - comporte calcular y comparar la HC de dos cadenas de transporte alternativas con el mismo origen y destino final de la mercancía. Según cual sea el objetivo de la valoración, será necesario extender el cálculo de la HC a la totalidad de la cadena de transporte (por ejemplo, para las Autopistas del Mar), o bastará limitarlo a una parte de la misma (por ejemplo, para comparar la HC del encaminamiento de la mercancía dentro del hinterland de un puerto, según se haga por carretera o ferrocarril).

II.1.2. MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO

La HC de la cadena de transporte (expresada en unidades de CO₂eq) se calculará, con carácter general, aplicando la siguiente expresión:

$$HC = T * D_C * Etkm_C + T * D_F * Etkm_F + T * D_M * Etkm_M + \sum_i T * Et_i$$

donde T es el total de toneladas transportadas durante el periodo de tiempo considerado;
 D_C, D_F y D_M son las distancias recorridas respectivamente por carretera, ferrocarril o por vía marítima, en kilómetros¹⁶;
 Etkm_C, Etkm_F y Etkm_M son las emisiones de CO₂eq por tonelada transportada y kilómetro recorrido (t-km) en modo carretera, ferroviario o marítimo; y
 Et_i son las emisiones de CO₂eq por tonelada manipulada en el punto de tránsito i.

Para calcular las emisiones atribuibles al transporte marítimo será imprescindible tomar en consideración el modo o modos de presentación de las mercancías (granel líquido, granel sólido, mercancía general en contenedor, tráfico ro-ro o mercancía general convencional), debido a la notable incidencia que tienen sobre las emisiones las características de los medios de transporte empleados para cada tipo de tráfico (en particular, los buques).

Siempre que sea factible, se estimarán valores de D y Etkm específicos que tomen en cuenta las características y condiciones particulares del transporte en la cadena evaluada (punto de origen y de destino de la mercancía, tipo de camión empleado y carga media por trayecto, composición de los trenes y tipo de tracción ferroviaria, características del buque, etc.).

Al calcular la huella de carbono, es conveniente que Etkm y Et consideren no solo las emisiones atribuibles a la operación de vehículos y buques, sino también las asociadas a la fabricación/ construcción, mantenimiento y desguace de los mismos, puesto que – aunque éstas sean despreciables frente a aquéllas en el caso del transporte marítimo – no sucede lo mismo en el caso del transporte terrestre.

Etkm y Et incluirán las emisiones *well-to-tank* (si se emplean combustibles fósiles) y *well-to-plant* (si se consume energía eléctrica), con objeto de asegurar que la adición y comparación de emisiones de GEI producidas al emplear fuentes de energía diferentes se hace de forma coherente.

Conviene señalar, por último, que el periodo de tiempo considerado en el cálculo de la HC de una cadena de transporte puede variar notablemente, en función del objetivo que persiga dicho cálculo. Cuando interese evaluar la HC correspondiente a periodos largos (por ejemplo, varios años) debe considerarse la posible variación de D, Etkm y Et en función del tiempo.

¹⁶ Se entiende excluida la distancia recorrida por tierra dentro del recinto portuario, o navegada dentro de la Zona I de servicio del puerto.

II.2. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES AL TRANSPORTE TERRESTRE EN EL HINTERLAND PORTUARIO

II.2.1. DISTANCIA RECORRIDA

Cuando el origen y el destino de la mercancía sean conocidos, la distancia del recorrido por carretera puede estimarse con relativa facilidad con ayuda de servicios online de planificación de rutas. En el caso de que se desconozca la distancia real de un recorrido ferroviario entre dos puntos, ésta podrá estimarse mayorando la distancia en línea recta entre las estaciones de origen y destino en un 50%, de acuerdo con las estimaciones efectuadas por el equipo investigador del proyecto Enertrans^[18].

Si los orígenes o destinos de la cadena de transporte son múltiples, será necesario estimar una *distancia virtual equivalente* que represente el recorrido medio realizado por la mercancía dentro del hinterland del puerto.

Cuando se evalúen cadenas de transporte que pasan por los puertos españoles de titularidad estatal, sin diferenciar por qué puerto lo hacen, se podrá recurrir –para recorridos medios en el hinterland nacional- a los valores de referencia indicados en la tabla II.2, estimados por Puertos del Estado.

Tabla II.2
Recorridos medios del transporte terrestre de mercancías dentro del hinterland portuario español

Medio de transporte utilizado en el hinterland	Recorrido medio	
Carretera	100 km	
Ferrocarril	Granel líquido	490 km
	Granel sólido	200 km
	Mercancía convencional	540 km
	Mercancía en contenedor	580 km
	Vehículos como mercancía	580 km

Si es preciso considerar cuál es el porcentaje de mercancías que entran o salen por carretera y por ferrocarril de un puerto o conjunto de puertos españoles, se recurrirá normalmente a las estadísticas elaboradas por cada Autoridad Portuaria o publicadas por Puertos del Estado.

II.2.2. EMISIONES UNITARIAS DEL TRANSPORTE POR CARRETERA

Las emisiones de CO₂eq/t-km en modo carretera pueden estimarse aplicando la expresión siguiente:

$$E_{tkm_c} = \frac{C_c * FE_C^{w-w}}{F_c} * (1 + \%_c)$$

siendo C_c el consumo medio de combustible, en l/km, de un camión;
 FE_C^{w-w} el factor de emisión *well-to-wheel* del combustible empleado por el camión;
 F_c la carga media transportada por el camión, en toneladas (excluida, en su caso, la tara del contenedor); y
 $\%_c$ el porcentaje, en tanto por uno, que suponen las emisiones atribuibles a la fabricación, mantenimiento y desguace de un camión respecto de las de su operación.

En línea con la apreciación de N. Hill et al.^[19], se podrá considerar que las emisiones atribuibles a la fabricación, mantenimiento y desguace de un camión se sitúan en torno al 5% de las emisiones ocasionadas por su funcionamiento.

Para determinar FE_C^{w-w} se podrá suponer que la totalidad de los camiones emplean gasóleo A y considerar por tanto un factor de emisión *well-to-wheel* igual a 3,128 kgCO₂eq/l (cf. tabla I.2, tabla I.4 y I.3.5).

El consumo medio de combustible C_C depende del tipo de camión. Como valor de referencia puede tomarse 0,385 l/km. Esta cifra se ha obtenido del Observatorio del Transporte Intermodal terrestre y Marítimo, Año 2011. Calculan que en recorridos anuales en vacío circulan un 15 % de las veces.

La carga media transportada por camión dependerá de su capacidad de carga útil y del tipo de mercancía y/o de su modo de presentación. Si la mercancía viaja en contenedor, habrá que considerar el número de contenedores por camión (normalmente un contenedor, en ocasiones dos si son de 20') y estimar la carga media por contenedor a partir de las estadísticas portuarias sobre tráfico de contenedores (excluyendo contenedores en tránsito y diferenciando, si procede, entre tráfico de cabotaje o exterior). En el caso de vehículos transportados como mercancía, es habitual considerar que cada camión lleva 8 automóviles y que cada automóvil pesa en torno a 1,5 toneladas. Para estimar F_c también se tendrá que tener en cuenta el kilometraje realizado por el camión en vacío. La tabla II.3 muestra los supuestos de recorrido en vacío incluidos en el Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera^[20] para diversos tipos de camión.

Tabla II.3 – Kilometraje medio realizado en vacío, según tipo de vehículo pesado

Fuente: Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera (Ministerio de Fomento, Julio 2020)

Tipo de camión	Recorrido en vacío
Vehículo cisterna articulado	30%
Volquete articulado de graneles	20%
Vehículo articulado de carga general	15%
Vehículo frigorífico articulado	20%
Vehículo articulado portacontenedores	15%
Portavehículos	20%

La tabla II.4 proporciona diversos valores de referencia para F_c . Estos valores se han obtenido suponiendo una carga útil por camión de 24 toneladas, un aprovechamiento de la carga útil del 85%, y porcentajes de recorrido en vacío iguales a los de la tabla II.3. En el caso de transportar vehículos como mercancía, la carga se ha supuesto igual a 12 toneladas. Para mercancías en contenedor, se ha considerado una carga media de 11 t/TEU, valor deducido a partir de las estadísticas publicadas por Puertos del Estado^[21] para el conjunto del sistema portuario de titularidad estatal. Los valores de la tabla II.4 resultan en general superiores a 10,8 t/veh, carga media utilizada por el Ministerio de Fomento en su informe anual de 2018 sobre el transporte y las infraestructuras^[22] en base a la explotación de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera del año anterior.

Tabla II.4 – Valores de referencia para la carga media transportada por un vehículo pesado

Tipo de mercancía	F _c
Granel líquido	14,3 t
Granel sólido	15,3 t
Mercancía convencional	17,3 t
Mercancía en contenedor	18,7 t
Vehículos como mercancía	9,7 t

II.2.3. EMISIONES UNITARIAS DEL TRANSPORTE FERROVIARIO

Como valores de emisiones unitarias de CO₂eq/t-km en el caso de transporte por ferrocarril (Etkm_F) en España podrá tomarse como referencia los indicados en la tabla II.5. Estas emisiones se han calculado a partir de datos proporcionados por Renfe Operadora. La tabla proporciona emisiones diferenciadas según sea la tracción eléctrica o diésel, así como un valor agregado que no diferencia según el modo de tracción, estimado a partir de la distribución actual de servicios realizados por Renfe Operadora (86,6% de t-km con tracción eléctrica y 13,4% con tracción diésel para el año 2017).

Para calcular las emisiones atribuibles a la tracción eléctrica se ha supuesto un FE_F^{w-w} de 320 grCO₂eq/kWh, obtenido de considerar el promedio de factores de emisión correspondientes al mix de toda la producción bruta de la energía eléctrica peninsular durante el periodo 2008-2012, según la estimación efectuada por la Oficina Catalana del Cambio Climático^[23]. Las emisiones asociadas al proceso de fabricación y desguace de un tren de mercancías se han supuesto equivalentes a 0,44 grCO₂eq/t-km, tomando como base la estimación efectuada por A. García ^[24] ¹⁷. Coherentemente con las estimaciones realizadas por I. González ^[25], se ha supuesto que las emisiones del transporte ferroviario de vehículos son el triple que las emisiones medias en mercancías, como consecuencia de la limitación en España de la longitud máxima de los trenes que penaliza las emisiones por tonelada transportada de mercancías voluminosas.

Tabla II.5
Emisiones unitarias medias del transporte de mercancías por ferrocarril en España

Tipo de mercancía	Tracción	Etkm _F (grCO ₂ eq/t-km)	
Granel líquido o sólido Mercancía convencional o en contenedor	Eléctrica	24,1	19,4
	Diésel		54,2
Vehículos como mercancía	Eléctrica	72,3	58,2
	Diésel		162,6

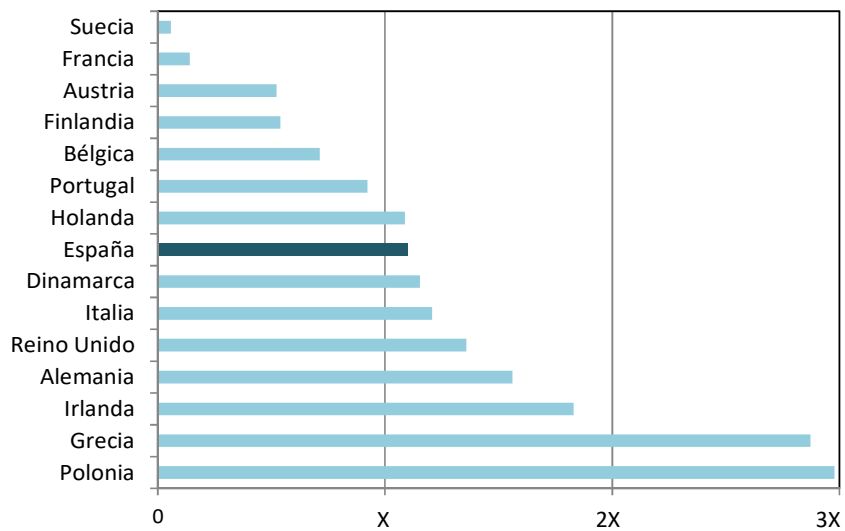
En cadenas de transporte internacional de mercancías, el valor de Etkm_F puede variar notablemente de un país a otro (por ejemplo, como consecuencia de diferencias en la capacidad de carga de los trenes empleados habitualmente y del grado de utilización de la misma). Puesto que en trenes de mercancías predomina en Europa la tracción eléctrica, convendrá tener presente especialmente la incidencia que la variación del factor de emisiones correspondiente al mix de producción de energía eléctrica en cada país pueda tener sobre Etkm_F. El gráfico II.6 muestra, a modo de referencia, esta variabilidad en varios países de la Unión Europea. A consecuencia de la misma, Etkm_F en países como Francia puede ser inferior a una quinta parte de Etkm_F en España y, en países como Alemania, superiores en un 50%.

¹⁷ Ello viene a representar, con respecto a las emisiones producidas por la circulación del tren, porcentajes entre el 1% y 4% en composiciones que transportan mercancías pesadas, e inferiores al 1% si transportan mercancías voluminosas.

Gráfico II.6

Ejemplo de variación del factor de emisiones correspondiente al mix de producción nacional de energía eléctrica. Año 2017

Fuente: Agencia Internacional de la Energía



II.3. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES AL TRANSPORTE MARÍTIMO

II.3.1. DISTANCIA DE NAVEGACIÓN

La determinación de la distancia de navegación en una cadena de transporte en la que estén definidos los puertos de origen y destino puede hacerse en general – con suficiente aproximación – con ayuda de alguna de las publicaciones específicas o calculadoras en línea disponibles en Internet. El Instituto Hidrográfico de la Marina ofrece, por ejemplo, datos de distancia entre todos los puertos españoles de interés general y 24 puertos de titularidad autonómica. La calculadora disponible en www.sea-distances.org proporciona distancias entre casi una treintena de puertos españoles de titularidad estatal y más de 4.000 puertos de todo el mundo.

En el caso del puerto de Sevilla o de puertos internacionales marcadamente fluviales, la distancia de navegación se calculará incluyendo la distancia de navegación por el río (y se podrá asumir, posteriormente, que el consumo de combustible durante la navegación fluvial es equivalente al consumo del buque en mar abierto, siempre que la distancia de navegación fluvial sea porcentualmente pequeña respecto de la distancia total de navegación entre los puertos de origen y destino). Cuando sea factible, se tendrá en cuenta también la ruta real de los buques, que normalmente viene condicionada por escalas intermedias o algunas de las características del buque (por ejemplo, el calado), que pueden ser limitantes en determinados puntos de paso (e.g. canales de Suez o Panamá).

II.3.2. EMISIONES UNITARIAS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Las emisiones de CO₂eq/t-km atribuibles al transporte marítimo de una mercancía (Etkm_M) se pueden estimar, con carácter general, aplicando la expresión siguiente:

$$Etkm_M = \frac{PTC_{M-Crucero} * FE_{M-Crucero}^{w-w}}{F_M} * (1 + \%_M)$$

siendo PTC_{M-Crucero} la potencia total consumida, en kWh, por los motores del buque durante la navegación en crucero;

FE_{M-Crucero}^{w-w} el factor de emisión *well-to-wheel* de los combustibles empleados por el buque, en CO₂eq/kWh;

F_M la carga media transportada por el buque, en toneladas; y

%_M el porcentaje, en tanto por uno, que suponen las emisiones atribuibles a la construcción, mantenimiento y desguace de un buque respecto de las de su operación.

De acuerdo con las estimaciones efectuadas por A. García ^[24], las emisiones asociadas al proceso de construcción y desguace de un buque equivalen a menos de un 1% de las emisiones ocasionadas por la operación del buque durante su vida útil, por lo que %_M puede suponerse cero.

La carga media transportada por el buque (F_M) puede estimarse – para un tipo de mercancía y/o modo de presentación concreto - en base a la capacidad de carga del buque y a un factor de utilización que tome en cuenta el grado de aprovechamiento medio de dicha capacidad de carga en cada trayecto (incluido posibles desplazamientos en vacío). La tabla II.7 proporciona valores de referencia para dicho factor de utilización, extraídos del segundo informe de la OMI ^[26] sobre emisiones de GEI del transporte marítimo. La estimación de estos valores puede considerarse optimista al no tomar en cuenta los efectos de un posible sobredimensionamiento de la flota mercante frente a la demanda de transporte marítimo existente. Para

estimar la capacidad de carga del buque podrá suponerse - a falta de información específica - una carga media de 11 t/TEU en buques portacontenedores, y 1,5 toneladas por vehículo en buques car carrier puros y 2 toneladas por metro lineal en el resto de buques ro-ro.

Tabla II.7 – Valores de referencia para el factor de utilización de la capacidad de carga de un buque

Fuente: *Second IMO GHG Study 2009*

Tipo de mercancía	Tipo de buque	Factor de utilización
Granel líquido	Tanque de petróleo	48%
	Tanque químiquero	64%
	Gasero	48%
Granel sólido	Granelero < 10.000 TPM	60%
	Granelero 10.000 – 100.000 TPM	55%
	Granelero > 100.000 TPM	50%
Mercancía convencional	Carga general	60%
	Carga refrigerada	50%
Mercancía en contenedor	Portacontenedores	70%
Tráfico ro-ro	Ro-ro, incluido portavehículos	70%

$FE_{M-Crucero}^{W-W}$ será función del tipo de motores del buque y combustibles que éstos consuman durante la travesía. La mayoría de buques grandes (petroleros, graneleros, portacontenedores) tienen instalados motores diésel a baja velocidad, mientras que en buques de carga general y ro-ro suelen prevalecer los de velocidad media frente a los de baja velocidad. El combustible empleado por los buques durante la navegación en crucero es, en la mayor parte de casos, el fuelóleo marino. La tabla II.8 muestra los factores de emisión que se obtienen tomando como base los consumos por unidad de potencia consumida propuestos en la Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019 ^[3] y las emisiones por unidad de combustible consumido consideradas por la OMI ^[4], una vez incorporadas las emisiones *well-to-tank*. La tabla II.9 proporciona valores medios de $FE_{M-Crucero}^{W-W}$ a los que recurrir cuando únicamente se conozca el modo de presentación de la mercancía y se desconozca el tipo de motor instalado en el buque que la transporta y el combustible empleado (fuelóleo o gasóleo marino); dichos valores han sido obtenidos a partir de los supuestos de la Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019 ^[3] a la vista de las características de motorización medias de la flota mundial de buques mercantes.

Tabla II.8

Factor de emisión *well-to-wheel* del combustible empleado en los motores de un buque durante la navegación en crucero

Tipo de motor		$FE_{M-Crucero}^{W-W}$	
		Fuelóleo marino	Gasóleo marino
Diésel de velocidad media o de alta velocidad	Motor principal	809 gCO ₂ eq/kWh	794 gCO ₂ eq/kWh
	Motor auxiliar	863 gCO ₂ eq/kWh	849 gCO ₂ eq/kWh
Diésel a baja velocidad	Motor principal	741 gCO ₂ eq/kWh	724 gCO ₂ eq/kWh
	Motor auxiliar	-	-
Turbina a gas	Motor principal	1.159 gCO ₂ eq/kWh	1.134 gCO ₂ eq/kWh
	Motor auxiliar	-	-

Tabla II.9
Factor medio de emisión *well-to-wheel* del combustible líquido empleado en los motores de un buque durante la navegación en crucero

Fuente de emisión			$FE_{M-Crucero}^{W-W}$
Motores principales	Granel líquido		758 gCO ₂ eq/kWh
	Granel sólido		746 gCO ₂ eq/kWh
	Mercancía general	Mercancía convencional	777 gCO ₂ eq/kWh
		Mercancía en contenedor	745 gCO ₂ eq/kWh
		Tráfico ro-ro	801 gCO ₂ eq/kWh
Motores auxiliares		Fuelóleo/Gasóleo marino	780 gCO ₂ eq/kWh

El cálculo de E_{tkm_M} en el caso de que el transporte marítimo se realice con buques propulsados con GNL tiene la dificultad de que, a fecha de hoy, no hay consenso suficiente acerca del valor de $FE_{M-Crucero}^{W-W}$ a considerar en términos de CO₂eq/kWh. Se puede partir, en términos másicos, de un factor de emisiones de 2,720 kgCO₂/kg de GNL, según propone utilizar el *Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción* para vehículos y maquinaria terrestre (cf. tabla I.2), muy similar al considerado en el último estudio de GEI realizado por la OMI^[4], de 2,750 kgCO₂/kg de GNL. Aunque este factor de emisiones es netamente inferior al del fuelóleo y gasóleo marinos, en el caso del GNL conviene tener presente las emisiones del resto de GEI, especialmente del CH₄. Según la plataforma ‘LNG for Shipping’^[27] – impulsada por la Comisión Europea -, la tecnología no ha conseguido todavía que la fracción de gas metano que se libera a la atmósfera durante el proceso de combustión del GNL pueda considerarse despreciable, especialmente en motores de cuatro tiempos que, por ejemplo, predominan entre los buques utilizados para el *short sea shipping*. Anderson et al.^[28] reportan emisiones de CH₄ de entre 7 g y 23-36 g por kg de GNL consumido por los motores de un ferry, dependiendo de la carga de los motores, lo cual equivale a un aumento de entre el 7% y el 24-37% si las emisiones se evalúan en términos de CO₂eq. Al objeto de estimar $FE_{M-Crucero}^{W-W}$ faltaría además tomar en consideración las emisiones *well-to-tank* asociadas a la producción, transporte y distribución del GNL, que el Joint Research Centre de la Comisión Europea^[29] estima en torno a 19,4 kgCO₂eq/GJ de GNL¹⁸. Así, en el supuesto de que las emisiones de CH₄ durante el proceso de combustión fueran de 15 g por kg de GNL consumido, resultaría un factor de emisiones *well-to-wheel* de 4,014 kgCO₂eq/kg de GNL, ligeramente superior a los factores de emisión *well-to-wheel* del fuelóleo y gasóleo marinos. Para llegar a disponer de un valor de $FE_{M-Crucero}^{W-W}$ expresado en términos de CO₂eq/kWh, faltaría por considerar, no obstante, las diferencias de poder calorífico de cada tipo de combustible, que suponen que con 0,88 t o 0,94 t de GNL pueda en teoría obtenerse aproximadamente la misma energía que con 1 t de fuelóleo o gasóleo marino respectivamente. En la práctica, sin embargo, el consumo de GNL es algo superior, puesto que la eficiencia de los motores al consumir GNL es algo inferior a su eficiencia cuando consumen fuelóleo o gasóleo marinos. Suponiendo que estas pérdidas de eficiencia son de un 5%, se obtienen reducciones de emisiones de CO₂eq/kWh cercanas al 5% respecto de los valores de $FE_{M-Crucero}^{W-W}$ incluidos en la tabla II.9, porcentaje éste que puede emplearse como referencia a efectos de aplicación de esta Guía.

Respecto de la potencia total consumida $PTC_{Crucero}$, ésta puede calcularse aplicando la expresión siguiente:

$$PTC_{Crucero} = [PN_{MP} * FC_{MP-Crucero} * t_{MP-Crucero}] + [PN_{MA} * FC_{MA-Crucero} * t_{MA-Crucero}]$$

donde PN_{MP} y PN_{MA} son, respectivamente, las potencias nominales de los motores principales y auxiliares del buque;

$FC_{MP-Crucero}$ y $FC_{MA-Crucero}$ son los factores de carga a los que funcionan cada tipo de motor mientras dura la navegación en crucero; y

¹⁸ Esta cifra puede variar notablemente en función de las pérdidas de metano que se produzcan durante los procesos de extracción y tratamiento en origen, cuyas emisiones suponen en torno al 50% del total de emisiones *well-to-tank* del GNL.

$t_{MP-Cruce}$ y $t_{MA-Cruce}$ son los tiempos de utilización de cada tipo de motor durante la etapa de navegación en crucero.

A continuación se proporcionan algunos valores de referencia, para el caso en que no sea posible calcular la potencia total consumida por el buque a partir de una caracterización del uso de sus motores ajustada a las características y condiciones reales de explotación del mismo.

Los tiempos de utilización de los motores ($t_{MP-Crucero}$ y $t_{MA-Crucero}$) suelen considerarse iguales al tiempo total de navegación, calculado a partir de la distancia de navegación entre los puertos de origen y de destino y de la velocidad de crucero del buque. A falta de otra información más precisa, pueden considerarse como valores de referencia de la velocidad de crucero de un buque los indicados en la tabla II.10, obtenidos por el CEDEX a partir de las escalas de buques habidas en el sistema portuario español en el año 2014^[10].

Tabla II.10
Velocidad media del buque durante la navegación en crucero
Fuente: CEDEX

Tipo de tráfico		Velocidad de crucero
Granel líquido		24 km/h
Granel sólido		24 km/h
Mercancía general	Mercancía convencional	22 km/h
	Mercancía en contenedor	34 km/h
	Tráfico ro-ro	38 km/h

Para los factores de carga $FC_{MP-Crucero}$ y $FC_{MA-Crucero}$ se puede recurrir a los valores propuestos por la Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019^[3], reproducidos en la tabla II.11.

Tabla II.11
Factor de carga al que funcionan los motores principales y auxiliares durante la navegación en crucero
Fuente: Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019

Tipo de tráfico		$FC_{MP-Crucero}$	$FC_{MA-Crucero}$
Granel líquido		0,8	0,3
Granel sólido			
Mercancía general	Mercancía convencional		
	Mercancía en contenedor		
	Tráfico ro-ro		

La potencia nominal de los motores principales del buque (PN_{MP}) puede estimarse a partir de su arqueado bruto (GT), empleando las expresiones que propone la Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019^[3], reproducidas en la tabla II.12. En caso de que se desconozca el tamaño del buque que efectuará el transporte, puede tomarse como referencia los valores medios de PN_{MP} indicados en la tabla I.12 (cf. 1.3.3.). La potencia nominal de los motores auxiliares del buque (PN_{MA}) puede estimarse a partir de PN_{MP} , aplicando los ratios propuestos en la tabla I.9 (cf. 1.3.3.).

Tabla II.12
Estimación de PN_{MP} a partir del GT de un buque
Fuente: Guía de inventario de emisiones EMEP-EEA 2019

Tipo de tráfico		PN _{MP}
Granel líquido		14,755*GT ^{0,6082}
Granel sólido		35,912*GT ^{0,5276}
Mercancía general	Mercancía convencional	5,56482*GT ^{0,7425}
	Mercancía en contenedor	2,9165*GT ^{0,8719}
	Tráfico ro-ro	164,578*GT ^{0,4350}

Valores de referencia de Etkm_M

Para el cálculo de la HC de algunas cadenas de transporte de mercancías puede ser conveniente considerar directamente valores aproximados de Etkm_M, por la dificultad que entraña realizar los cálculos según se ha descrito en los párrafos anteriores cuando se desconoce una o varias de las características principales de los buques empleados para transportar las mercancías. Las tablas II.13 y II.14 proporcionan, para estos casos, valores medios de referencia de Etkm_M particularizados a cadenas de transporte que pasan uno de los puertos españoles de interés general o por el sistema portuario español en su conjunto¹⁹. Ambas tablas incluyen emisiones diferenciadas según sea el tráfico de cabotaje o exterior, debido a la notable incidencia que tienen sobre las emisiones las características de los buques empleados para uno y otro tráfico; la tabla II.13 proporciona además un valor agregado, que no diferencia por tipo de tráfico. Para el cálculo de los valores de las tablas II.13 y II.14 se ha partido de las emisiones medias por t-km atribuibles a diferentes segmentos de la flota mundial de buques de mercancías referidas en el segundo informe de la OMI^[27] sobre emisiones de GEI del transporte marítimo - mayoradas oportunamente para tener en cuenta las emisiones *well-to-tank* -, y se ha aplicado dichas emisiones a la composición de la flota de buques que opera en el conjunto del sistema portuario español y en cada puerto. La composición de esta flota se ha estimado a partir de la información obtenida por el CEDEX^[30] sobre escalas realizadas por los buques en puertos españoles durante el año 2013.

Tabla II.13
Emisiones unitarias medias de los buques que hacen escala en el conjunto del sistema portuario español, según tipo de tráfico
Fuente: CEDEX

Tipo de tráfico	Tipo de buque	Etkm _M (gCO ₂ eq/t-km)			
		Global	Cabotaje	Exterior	
Granel líquido	Tanque / Gasero	11,4	13,9	10,5	
Granel sólido	Granelero	6,1	7,6	5,9	
Mercancía general	Mercancía convencional	Carga general, incluido carga refrigerada	18,1	18,3	18,0
	Mercancía en contenedor	Portacontenedores	28,1	30,6	26,2
	Tráfico ro-ro	Ro-ro, incluido portavehículos	60,0	-	-

¹⁹ En el caso de mercancías en contenedor y tráfico ro-ro, las emisiones unitarias se refieren a toneladas brutas, esto es, incluido la tara de los contenedores y de otros medios empleados para el tráfico ro-ro.

Tabla II.14
Emisiones unitarias medias de los buques que hacen escala en los puertos españoles de interés general,
según tipo de tráfico

Fuente: CEDEX

Puerto	Etkm _M (gCO ₂ eq/t-km)					
	Granel líquido		Granel sólido		Mercancía en contenedor	
	Cabotaje	Exterior	Cabotaje	Exterior	Cabotaje	Exterior
Vigo	-	-	16,8	-	47,9	43,6
Marín	-	-	5,2	6,6	46,6	24,2
Vilagarcía de Arousa	-	11,3	-	7,8	44,6	-
A Coruña	8,7	9,1	8,0	6,5	-	-
Ferrol	15,2	14,5	3,9	3,9	-	-
San Cibrao	-	13,1	-	4,9	-	-
Avilés	31,1	30,0	7,3	7,9	-	-
Gijón	15,6	18,9	8,0	4,7	49,4	46,3
Santander	-	19,7	7,3	6,9	-	-
Bilbao	8,6	9,7	7,2	6,6	48,2	50,0
Pasaia	-	-	-	15,2	-	-
Barcelona	13,2	13,4	5,7	7,7	26,5	25,3
Tarragona	11,3	12,3	6,8	7,9	47,6	25,0
Castellón	12,0	9,7	8,9	9,0	-	37,4
Sagunto	29,8	19,6	12,2	14,1	47,6	48,7
Valencia	13,6	12,9	11,5	9,4	26,3	24,3
Gandía	-	-	-	-	-	50,5
Alicante	-	18,2	-	8,0	46,3	42,9
Cartagena	8,9	8,7	7,8	7,1	48,0	43,4
Almería	-	-	34,5	9,2	-	-
Carboneras	-	-	9,4	5,0	-	-
Motril	12,5	15,8	-	10,5	-	-
Málaga	-	16,2	13,3	13,4	28,4	25,7
Algeciras – La Línea	12,5	10,4	6,5	5,5	29,3	25,8
Cádiz	-	-	-	-	36,3	35,9
Puerto Real / Cabezuela	-	17,5	-	7,2	-	-
Huelva	15,6	11,9	8,5	7,8	-	-
Sevilla	-	20,4	-	-	50,5	50,5
Ceuta	22,0	18,9	17,1	-	49,9	-
Melilla	30,4	-	-	-	50,5	50,5
Palma	12,2	10,4	31,3	29,2	-	-
Alcúdia	49,5	-	34,5	-	-	-
Maó	15,9	-	34,5	-	-	-
Eivissa	13,4	-	34,5	-	-	-
Sta. Cruz de Tenerife	16,9	7,7	5,9	4,6	47,3	42,6
Sta. Cruz de La Palma	41,3	-	34,5	-	43,0	-
S. Sebastián La Gomera	40,1	-	-	-	-	-
La Estaca	40,6	-	-	-	-	-
Las Palmas	16,7	8,3	5,7	5,6	37,5	24,3
Arrecife	32,3	-	34,5	-	47,6	-
Puerto del Rosario	28,9	-	34,5	-	45,7	-

El valor de referencia para tráfico ro-ro indicado en la tabla II.13 (60 grCO₂eq/t-km) es aplicable únicamente a servicios ro-ro puros (habituales en trayectos superiores a 300-400 km). Cuando el transporte de mercancía se realice en buques ro-pax, se recomienda tomar como referencia los siguientes valores, basados en los propuestos por Scandria^[31]: 90 grCO₂eq/t-km en el caso de que el buque ro-pax navegue con predominio de carga (típicamente en trayectos medios) y 135 grCO₂eq/t-km si el buque ro-pax viaja con predominio de pasajeros (en trayectos cortos).

II.4. CÁLCULO DE LAS EMISIONES ATRIBUIBLES A LA MANIPULACIÓN DE LA MERCANCÍA EN PUNTOS DE TRÁNSITO

II.4.1. EMISIONES UNITARIAS ATRIBUIBLES AL PASO PORTUARIO

A efectos de esta Guía, se considera que las emisiones atribuibles al paso de la mercancía por el puerto ($E_{t_{Puerto}}$) incluyen aquéllas que están vinculadas al funcionamiento de todas las instalaciones relacionadas con el paso de la mercancía por el puerto (terminales de mercancías, almacenes, edificios administrativos, astilleros y talleres, instalaciones de gestión y tratamiento de residuos, etc.) y al transporte terrestre y marítimo de la mercancía en el puerto. Con carácter general, el mayor porcentaje de emisiones proviene del consumo de combustible de los buques mientras maniobran y permanecen atracados en el muelle. Del lado tierra, destaca el consumo energético de los equipos de manipulación de cargas en las terminales. Son también significativas- aunque en menor medida - las emisiones asociadas al funcionamiento del resto de instalaciones fijas (edificios y almacenes, iluminación exterior, suministro eléctrico a buques, etc.) y al transporte terrestre de mercancías dentro del recinto portuario.

Cuando se conozca cuál es la HC del puerto, $E_{t_{Puerto}}$ se calculará a partir de la suma de emisiones de Alcance 1 y 2 de la Autoridad Portuaria y del resto de organizaciones relacionadas con el paso de la mercancía por el puerto que operan en régimen de contratación, concesión, autorización o licencia, del transporte terrestre de las mercancías dentro del recinto portuario, y del tráfico marítimo dentro de la Zona I de servicio del puerto. El valor de $E_{t_{Puerto}}$ se obtendrá de dividir la suma anterior por el tráfico total portuario correspondiente al período de cálculo de la HC, en toneladas.

En caso de desconocer la HC del puerto, podrá considerarse que la operación de la infraestructura portuaria ocasiona en la actualidad en torno a 4,0 kgCO₂eq por tonelada manipulada en el puerto, tomando como referencia los resultados obtenidos por los puertos de Valencia^[32], Algeciras^[33] y otros puertos mediterráneos dentro del proyecto Climeport.

II.4.2. EMISIONES UNITARIAS ATRIBUIBLES A OTROS PUNTOS DE TRÁNSITO

Las emisiones atribuibles al paso de la mercancía por terminales de tránsito terrestre ($E_{t_{Terminal}}$) incluyen aquéllas que producen los medios de transporte (camión/ferrocarril) a su llegada y salida de la terminal, los equipos de trasbordo de la mercancía y las instalaciones generales de la terminal (oficinas, iluminación exterior, etc.). También incluyen, en su caso, las emisiones asociadas a la prestación de servicios complementarios como depósito de contenedores vacíos, refrigeración de la mercancía, etc. Como se ha comentado anteriormente un ejemplo de punto de tránsito a estudiar sería la terminal logística ferroviaria de Majarabique en el contexto de su relación con el Puerto de Huelva.

En caso de que no se conozca la HC de la terminal, podrá considerarse que su operación ocasiona en torno a 1,0 kgCO₂eq por tonelada manipulada, sobre la base de los resultados obtenidos en el proyecto EcoHubs al aplicar a diversas instalaciones en Europa el *Intermodal Terminal Eco-Efficiency Calculator* ^[34].

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Fifth Assessment Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Noviembre 2014.
- [2] *Registro de Huella de Carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Factores de emisión. Versión 15*. Oficina Española de Cambio Climático. Junio 2020.
- [3] *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. Technical report No 13/2019; 1.A.3.d Navigation (shipping) 2019. European Environment Agency. Octubre 2020.
- [4] *Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020*. International Maritime Organization (IMO). 2020.
- [5] *Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2018*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2020.
- [6] *A carbon footprint assessment on construction and maintenance operations for the Port of Gothenburg (with emphasis on emission reduction actions)*. A. Sarbring. Master's thesis 2014:03. Chalmers University of Technology. 2014.
- [7] *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical report No 13/2019. 1.A.4 Non-road mobile sources and machinery 2019*. European Environment Agency. Octubre 2020.
- [8] *Transporte de mercancías perecederas en contenedor frigorífico*. Trabajo Final de Carrera. J. O. Rovira Monge. Abril 2015.
- [9] *Análisis de la robustez de los resultados de aplicar la metodología de estimación de emisiones del transporte marítimo en el SEI y elaboración de proyecciones de consumo de combustibles y emisiones de tráfico marítimo*. Informe para la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. CEDEX. Octubre 2015.
- [10] *Informe científico-técnico final*. Grupo de investigación del proyecto Enertrans. Abril 2010.
- [11] *Guide des facteurs d'émissions. Version 6.1. Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées. Chapitre 2 – Facteurs associés à la consommation directe d'énergie*. Bilan Carbone. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, ADEME. Junio 2010.
- [12] *2013 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors*. Department for Environment, Food & Rural Affairs. Julio 2013.
- [13] *Observatorio de obras portuarias. Estadística de precios unitarios. Actualización*. Puertos del Estado. Julio 2013.
- [14] *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas*. Puertos del Estado. Julio 2008.
- [15] *Energy and Carbon Costing of Breakwaters*. Bruce, Tom; Chick, John. ICE conference: Coasts, Marine Structures and Breakwaters. 2009.
- [16] *Quantifying the carbon footprint of coastal construction – a new tool HRCAT*. Broekens, Rudi; Escarameia, Manuela; Cantelmo, Clemente; Woolhouse, George. ICE Coastal Management Conference. 2011.
- [17] *Comparison of infrastructure designs for quay wall and small bridges in concrete, steel, wood and composites with regard to the CO₂-emission and the life cycle analysis*. Dudok van Heel, David; Maas, Trude; De Gijt, Jarit; Said, Mozafar. The 3er International Conference of European Asian Civil Engineering Forum. 2011.
- [18] *Incremento de recorrido por longitud de caminos, operación y gestión*. Monografía 7. A. Cillero et al. Proyecto EnerTrans “Desarrollo de un modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte”. Grupo de investigación coordinado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles. 2006-2009.

- [19] *The role of GHG emissions from infrastructure construction, vehicle manufacturing, and ELVs in overall transport sector emissions*. N. Hill et al. Final Task 2 Paper produced as part of a contract between European Commission Directorate-General Climate Action and AEA Technology plc. Octubre 2012.
- [20] *Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera*. Ministerio de Fomento. Julio 2020.
- [21] *Anuario Estadístico 2014. Sistema Portuario de Titularidad Estatal*. Puertos del Estado. Disponible en www.puertos.es/es-es/estadisticas/RestoEstadisticas/anuarioestadisticos/Paginas/2014.aspx.
- [22] *Los Transportes y las Infraestructuras. Informe Anual 2018*. Ministerio de Fomento. 2019.
- [23] *Nota informativa sobre la metodología de estimación del mix eléctrico 2015 por parte de la Oficina Catalana del Cambio Climático*. OCCC. Versión 19 de febrero de 2016.
- [24] *Energía y emisiones en el transporte por ferrocarril*. Alberto García. Colección Técnica. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Julio 2011.
- [25] *Estimación del consumo de energía y emisiones de CO₂ en trenes de mercancías y análisis de la variabilidad*. Ignacio González Franco. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- [26] *Second IMO GHG Study 2009*. International Maritime Organization (IMO). Abril 2009.
- [27] *LNG for Shipping*. <https://lngforshipping.eu>.
- [28] *Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship*. Anderson, M., Salo, K. & Fridell, E. (2015). *Environmental Science & Technology*, 49(20), pp.12568-12575. 2015.
- [29] *Well-to-Tank Report Version 4.0. JEC Well-to-Wheels Analysis. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*. Joint Research Centre of the European Commission. JRC Technical Reports. 2013.
- [30] *Mejora de la metodología de estimación de emisiones del transporte marítimo en el Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera*. Informe para la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. CEDEX. Noviembre 2014.
- [31] *Benchmarking of ferry and ro-ro transport for the development of "Green corridors for freight transport"*. Baltic Sea Region project Scandria. Mayo 2012.
- [32] *Current Situation of Ports According to Greenhouse Gas Emissions. Case study: Valencia port*. Climeport. Autoridad Portuaria de Valencia & Universidad Politécnica de Valencia.
- [33] *Diagnóstico de evaluación de gases de efecto invernadero en el puerto Bahía de Algeciras y puerto de Tarifa 2008//IG-MED08-60*. Climeport. Puerto Bahía de Algeciras. Febrero 2011.
- [34] *ITEC – Carbon footprint calculator for intermodal terminals*. Lars Deiterding. EcoHubs Demonstration Workshop. Bruselas, 4 de Diciembre de 2014.