



**PROJECT 2015-EU-TM-0417 OPS MASTER PLAN FOR SPANISH  
PORTS**

**Sub-activity A2.3: Environmental and social impact evaluation**

**Cuantificación de contaminantes de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, PM, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>  
por cada Puerto, durante el tiempo de atraque y por clase y tipo de  
barco**



<b>Tipo de Documento</b>	Final Report
<b>Document Number</b>	1
<b>Phase no.</b>	Activity 2
<b>Action no.</b>	COMPONENT A2. 3
<b>Authors</b>	Juan Moreno-Gutiérrez (UCA) Vanesa Durán-Grados(UCA)
<b>Dissemination Level</b>	OPS partners
<b>Circulation</b>	OPS Consortium
<b>Contractual Date of delivery</b>	December 2018
<b>Version</b>	2

## RESUMEN

Este informe final recoge todos los resultados obtenidos del estudio de emisiones de los cuatro Puertos incluidos en el Proyecto y fundamentalmente da respuesta al compromiso adquirido por la UCA como socio del proyecto en el apartado:

Sub-activity A2.3: Environmental and social impact evaluation

This sub-activity is focused to give an answer to the environment issues where the project can be involved. This study can be divided into two main groups.

*“The first group is focused to quantify emissions of the vessel at port using their auxiliary engines to generate the electric energy. This quantification will include the NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, PM, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions disaggregated per port, berthing quay, vessel type and size. This study will be developed by “Universidad de Cádiz”.*

Consecuentemente, el informe recoge el total de consume de combustible para cada Puerto mientras los barcos están atracados(considerando barco atracado cuando su velocidad es cero en la base de datos AIS suministrada por Puertos del Estado), así como las emisiones producidas.

En este caso se han empleado dos bases de datos de factores de emisión. Las que vienen expresadas en gramos de contaminantes por energía suministrada por el eje de los motores y aquella otra que emplea factores de emisión expresados en kilogramos de contaminantes por toneladas de combustible consumido

Esto último se puede considerar como una aportación científica de ese proyecto a la transferencia de resultados de la investigación.

Se ha empleado metodologías definidas por los autores del estudio en dos artículos publicados en una revista de alto índice de impacto. Y que han servido como prueba de difusión del proyecto.

- Durán-Grados,V., Mejias, J, Musina,L, Moreno-Gutiérrez, J.The influence of the waterjet system on the ships' energy consumption and emissions inventories. 2018. **Science of the total Environment**.631-632 pp.496-509
- Juan Moreno-Gutiérrez, Emilio Pájaro-Velázquez, Yolanda Amado-Sánchez, Rubén Rodríguez-Moreno, Fátima Calderay-Cayetano, VanesaDurán-Grados. Comparative analysis between different methods for calculating on-board ship's emissions and energy consumption based on operational data. 2018. **Science of the total environment**, 650, 575-584

Para el cálculo de la potencia generada por los barcos atracados se utilizó la Base de Datos de Lloyd's de reciente adquisición por parte del grupo de investigación que trabaja en este Proyecto.

Los datos AIS fueron suministrados por Puertos de Estado





## INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

Dr. Juan Moreno-Gutiérrez

Dra. Vanesa Durán-Grados

Dra. Marta Staroska-Patyc

Dra. Fátima Calderay-Cayetano

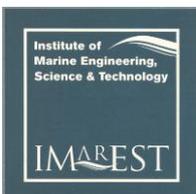
Máster Yolanda Amado- Sánchez

Máster Emilio Pájaro-Velázquez

Máster Rubén Rodríguez-Moreno



<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>2.- METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
2.1.- Ecuaciones empleadas	27
2.1.1.- Barco está atracado	27
2.1.1.2.- Potencia instalada en motores principales	30
2.1.1.3.- Factores de emisión de los motores auxiliares	34
2.1.1.4.- Entradas anuales por cada tipo de barco	36
2.1.1.5.- Horas de permanencia en puerto	36
2.1.1.6.- Energía Eléctrica generada por cada instalación	37
2.1.1.7.- Emisiones por instalación	37
2.1.2.- Ecuaciones a emplear para grupo de barcos concretos	38
<b>3.- RESULTADOS</b>	<b>40</b>
3.1.- Contaminantes por puerto	43
3.2.- Contaminantes por buque y puerto	45
3.3.-Contaminantes por mes y puerto	49
3.4.- Contaminantes por mes y puerto	53
3.5. Consumos de combustible	57
<b>4.- REFERENCIAS</b>	<b>58</b>





## 1.- INTRODUCCIÓN

Los Puertos son los mayores centros de movimientos de personas y mercancías a través de los barcos, tanto en Europa como en Estados Unidos y son vitales para la competitividad en los negocios, trabajos y prosperidad de la economía. Los movimientos de pasajeros y mercancías a través de los puertos van en continuo aumento de la misma manera que los tipos de barcos que continuamente necesitan de actualización de sus elementos propulsores y planta energética en general. Algunos barcos como los cruceros, portacontenedores y frigoríficos, consumen una importante cantidad de energía mientras estén en Puerto. Esta energía la generan normalmente los motores generadores de los propios barcos. Sin embargo, es importante entender los potenciales impactos negativos que esto genera sobre la contaminación atmosférica, los Gases de Efecto Invernadero (GEIs) así como sobre la salud humana de las personas que viven, trabajan y desarrollan su vida alrededor del puerto. Habría que tener en cuenta que según EPA (1), aproximadamente 39 millones de personas viven alrededor de los Puertos. Además, hay que tener en cuenta que la maquinaria de Puerto, vehículos, equipos y barcos también producen cantidades significativas de Gases de Efecto Invernadero (GEIs).

El problema ha estado centrado en que la calidad del aire de los Puertos no ha empezado a tenerse en cuenta como prioridad ambiental hasta el año 2004 que aparece en el sexto lugar a nivel mundial entre dichas prioridades.



En el año 2009, pasó a ser la segunda prioridad y actualmente ocupa el primer lugar(2).

Los equipos de transformación de energía que normalmente operan tanto en los barcos como en la maquinaria portuaria, son motores diésel cuyas emisiones suponen una significativa contribución a la contaminación atmosférica.

En este sentido, dado que los puertos crecen en ciertas áreas, la contaminación atmosférica también crecerá.

Las emisiones procedentes de los barcos y el resto de motores diésel de los que operan en los puertos están formadas, además de los GEIs, fundamentalmente por CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM y la exposición a estos contaminantes contribuye a producir y/o incrementar problemas de salud como muertes prematuras, aumento de hospitalizaciones como consecuencia de enfermedades del corazón y de garganta e incremento de los riesgos de cáncer y enfermedades respiratorias especialmente para niños, personas de avanzada edad, trabajadores y otras partes sensibles de la población(3).

Muchos puertos y corredores relacionados con el puerto también están localizados en áreas con un alto porcentaje de bajos ingresos económicos y poblaciones de minoría que desproporcionadamente a menudo son afectadas por los niveles más altos de emisiones diésel.

Actualmente existen programas a nivel mundial enfocados directamente a planes de acción de “aire limpio”, por ejemplo, Clean Plan Action (CAAP)

de 2017(4) que, entre sus estrategias proponen un plan agresivo hacia mejoras atmosféricas ambientales con el objetivo de “cero emisiones en puerto” reflejado en el acuerdo firmado en junio entre el alcalde de los Ángeles y el alcalde de Long Beach, que crearon una acción conjunta para definir ese programa de cero emisiones en el movimiento futuro de mercancías, con mejoras también para los equipos de carga para el año 2030 así como también cero emisiones para los camiones dentro de puerto para 2035. En esa misma declaración ambos alcaldes se han comprometido en avanzar en las nuevas tecnologías limpias de reducción de emisiones y combatir así el cambio climático.

Todo lo anterior, dirigido hacia un objetivo muy claro y fundamental que es la prioridad del cuidado de la salud pública. En atención a ello, deberían ser los propios puertos los que tomen las decisiones y las iniciativas de usar máquinas que contamine lo menos posible y se establezca así su “cero emisión en puerto”.

Entre las inversiones en nuevos equipos para trabajar en puerto, está proliferando a un ritmo acelerado la instalación de On-shore Power Supply (OPS) consistente en la instalación de una planta de suministro de energía eléctrica a los buques con energía procedente de las instalaciones terrestres. No obstante, es importante proponer una política para ayudar a definir todas las actuaciones a realizar para poder disminuir las emisiones en puertos. Teniendo en cuenta que una vez trazado un plan de actuación en este sentido, será necesario un mantenimiento continuo del mismo cada cierto periodo de tiempo. En algunos casos, se deberían tener en cuenta

incluso, incentivos para aquellas empresas que utilicen maquinaria optimizada desde el punto de vista medioambiental. Asimismo, se deberían implementar estrategias a largo plazo, para darle continuidad a lo anteriormente expuesto. Ello puede conseguirse mediante planes enfocados de una manera significativa a la reducción de los riesgos de salud provocados por la contaminación atmosférica procedentes de las fuentes tanto las instaladas en los Puertos como las móviles correspondientes a barcos, trenes, camiones, equipos de terminal y embarcaciones de río y remolcadores. Este cambio en la manera de proceder, en los movimientos de mercancías, ayudaría también a la creación de nuevos puestos de trabajo, dado que se trata de utilizar ciertas nuevas tecnologías.



Una buena política de actuación medioambiental sería la representada en la figura en la que se observa que la sostenibilidad debería envolver simultáneamente la búsqueda de la prosperidad económica, la calidad ambiental y la responsabilidad social.

Por otro lado, se espera que los límites de contenido de Azufre (productores de SO<sub>x</sub> y PM, contaminantes altamente peligrosos para la salud) en los

combustibles que han sido reducidos recientemente así como las tecnologías de reducción del resto de contaminantes (5), causen un efecto positivo sobre la calidad del aire en los Puertos.

El 70 % aproximadamente de la energía que se consume en los Puertos provienen de los barcos que transforman la energía térmica en eléctrica mediante sus motores auxiliares generadores de corriente eléctrica. En este sentido, usando la energía procedente de la red de la ciudad, (OPS), se podría eliminar por completo a nivel local las emisiones procedentes de dichos motores auxiliares. Esta energía es la que se utiliza a bordo para los sistemas auxiliares, la iluminación, el aire acondicionado, y la habitabilidad.

OPS típicamente produce emisiones cero locales. La planta de generación de potencia que suministra la electricidad para estos usos pueden o no estar dentro de los límites del puerto y puede estar localizada fuera del entorno de aire local (6).

El transporte Marítimo requiere, por tanto, prioridad en la reducción, tanto de CO<sub>2</sub> como del resto de contaminantes emitidos a la atmósfera. El crecimiento del mercado de energías renovables offshore y el refitting a los barcos existentes, pueden acelerar el proceso de introducción de nuevas tecnologías que aporten beneficios tanto a la economía como al medioambiente.

En este sentido, los cambios en innovación para los próximos 15 años, se basan en tres pilares fundamentales, con vistas al H2020:

- Operaciones de navegación segura, eficiente y sostenible



- Una industria Marítima Europea Competitiva
- Manejar y Facilitar el crecimiento por medio de un cambio en el Modelo Comercial.

Europa es una superpotencia marítima como queda reflejado en el documento de la Comisión Europea (7) y, en este sentido, la sociedad europea demanda que todas las industrias asuman sus responsabilidades en el importante debate sobre el impacto ambiental y se trabaja hacia un futuro más verde y más sostenible.

Por este motivo, conforme aumente el ritmo de la innovación, las pequeñas y medianas empresas marítimas deberán adaptarse a este crecimiento incorporándose a las áreas de investigación en las que se requiera su intervención.

Por otro lado, los efectos de las emisiones de los motores auxiliares cuando están atracados son las más altas comparadas con los otros modos de navegación. Es obvio, por tanto, que una reducción de las emisiones procedentes de los barcos cuando están tanto atracados como durante las maniobras tendrían una influencia positiva en la salud humana evitando muertes prematuras y hospitalizaciones.

Por este motivo, la eficiencia energética está alcanzando un alto nivel de importancia en los Puertos y terminales de tal manera que, con procedimientos y sistemas adecuados, se podría obtener un gran ahorro de energía si se racionalizan las operaciones y se adoptan nuevas tecnologías así como el uso de fuentes de energías renovables.



Dado el conocimiento existente actualmente de que las emisiones producidas en los puertos pueden suponer hasta un 50% (8) del total de las emisiones producidas en la ciudad, éstos actualmente se están esforzando en presentar una imagen de “Puerto verde” como parte de una mejora de sus estrategias en los procesos de gestión y para dar respuesta a la presión de las Navieras las cuales están obligados por Normativa IMO a utilizar instalaciones energéticas con maquinaria que utilicen procesos de conversión de energía más limpios.

Un inventario energético y de emisiones es importante para todos, incluyendo tanto a la autoridad portuaria como a los usuarios del puerto como son los operadores de terminales, navieras, almacenistas, industrias y cualquier tipo de entidades que hagan sus negocios en el recinto portuario, ya que pueden utilizar dicho inventario para cuantificar su propio consumo de energía y el impacto medioambiental que provocan sus actividades, pudiendo por tanto planificar las mejoras necesarias que le llevarán de la mano sin duda a un aumento de los rendimientos de su propia empresa. La base de datos así desarrollada, proporcionaría una base indispensable tanto para la trazabilidad temporal de esos parámetros en el puerto objeto del estudio, como para su comparación con otros puertos, que ahora será más efectiva al poder estimar solo los datos correspondientes a las actividades realizadas y no en su conjunto.

Por otro lado, algunos puertos ya tienen instalaciones de On-shore Power Supply (OPS). La energía que requieren los barcos a veces supone un valor muy superior (caso de los Cruceros) al de las propias instalaciones del



puerto. Por lo tanto el desarrollo de un plan energético ambiental para cada puerto socio simultaneando y desarrollando actividades vinculadas a la producción de energía desde fuentes de energías renovables y limitando el uso de energía en su propio territorio, sería imprescindible en estos momentos como se detalla a continuación.

Tabla 1.- Instalaciones de OPS en Europa , Canadá y USA

Año de instalación	Nombre del Puerto	País	Capacidad (MW)	Frecuencia (Hz)	Voltaje (kV)	Tipo de barco
2000-2010	<u>Gothenburg</u>	Sweden	1.25-2.5	50 & 60	6.6 & 11	RoRo, ROPAX
2000	Zeebrugge	Belgium	1.25	50	6.6	RoRo
2001	Juneau	U.S.A.	7-9	60	6.6 & 11	Crucero
2004	<u>Los Angeles</u>	U.S.A.	7.5-60	60	6.6	Contenedor Crucero
2004	Piteå	Sweden	1.0	50	6	RoRo
2005-2006	<u>Seattle</u>	U.S.A.	12.8	60	6.6 & 11	Crucero
2006	Kemi	Finland		50	6.6	ROPAX
2006	Kotka	Finland		50	6.6	ROPAX
2006	Oulu	Finland		50	6.6	ROPAX
2008	Antwerp	Belgium	0.8	50 & 60	6.6	Contenedor
2008	Lübeck	Germany	2.2	50	6	ROPAX
2009	Vancouver	Canada	16	60	6.6 & 11	Crucero
2010	San Diego	U.S.A.	16	60	6.6 & 11	Crucero
2010	San Francisco	U.S.A.	16	60	6.6 & 11	Crucero
2010	Karlskrona	Sweden	2.5	50	11	ROPAX
2011	Long Beach	U.S.A.	16	60	6.6 & 11	Contenedor



2011	<u>Oslo</u>	Norway	4.5	50	11	crucero
2011	<u>Prince Rupert</u>	Canada	7.5	60	6.6	
2012	Rotterdam	Netherlands	2.8	60	11	ROPAX
2012	Ystad	Sweden	6.25	50 & 60	11	ROPAX
2013	Trelleborg	Sweden	3.5-4.6	50	11	ROPAX
2015	Hamburg	Germany	12	50&60	6.6&11	Crucero

Esta estrategia desarrollada durante el año 2011 podría significar una reducción de 197.000 toneladas de CO<sub>2</sub> para el año 2020.

A la hora de establecer las potencias de suministro y hacer el estudio comparativo entre energía procedente de a bordo y energía procedente de la red, habría que tener en cuenta que las redes eléctricas regionales tienen valores de contaminación atmosférica más bajos que los barcos de navegación oceánica y por eso el uso de OPS puede suponer una reducción de emisiones a la atmósfera muy importante y no sólo a nivel local.

Con independencia del CO<sub>2</sub> que produce cualquier sistema de combustión desarrollada en motores diésel, los contaminantes más perjudiciales a nivel local y analizados en este trabajo son NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>.

CARB(30) estimó que los barcos que utilizan OPS en US pueden reducir las emisiones a la atmósfera hasta un 30% de SO<sub>x</sub>, más de un 90% de SO<sub>x</sub> y 36 % de GHG dependiendo del tipo de energía que se utilice como energía primaria para la producción de energía eléctrica.

En la tabla 4 aparecen estas reducciones.

Tabla 4.-Reducción de contaminantes cuando se usa OPS

Contaminante	Porcentaje de reducción
NOx	99%
PM10	58%
PM2.5	71%
SOx	30%
CO2	36%

La proximidad al Puerto de la planta de generación de energía eléctrica también juega un papel importante dado que las pérdidas en la línea pueden suponer hasta un 6% en las redes de US, EU y China(9) y hasta un 13,1% a nivel mundial ( (10)

Las pérdidas de transmisión de energía eléctrica requieren generación de potencias muy superiores para compensar dichas pérdidas y entregar el nivel de energía requerido por el barco.

Las diferencias entre la energía de la red y la generada a bordo fueron estimadas por Corbett y Comer (11)

En la tabla 5 aparecen los factores de emisión de la red tanto para US como para EU-28. Los valores medios se muestran con más detalle en el Apéndice. Los valores de la red calculados para EU provienen de estadísticas de generación de energía eléctrica (12) y asociado con la contaminación atmosférica (13) y para US de la estadística procedente de EPA's eGRID (14) PM 2.5 se estimó mediante datos procedentes de National Renewable Energy Laboratory (15)

Tabla 5.-Comparación entre los factores de emisión de las redes eléctricas de US y EU(g/kWh)

Contaminante	US	EU-28
NO <sub>x</sub>	0.73	0.497
SO <sub>x</sub>	1.07	0.536
PM2.5	-----	0.017
PM10	0.042	0.028

A la hora de establecer las potencias de suministro y hacer el estudio comparativo entre energía procedente de a bordo y energía procedente de la red, habría que tener en cuenta que las redes eléctricas regionales tienen valores de contaminación atmosférica más bajos que los barcos de navegación oceánica y por eso el uso de OPS puede suponer una reducción de emisiones a la atmósfera muy importante.

En la tabla 5 aparecen los factores de emisión de la red tanto para US como para EU-28. Los valores medios se muestran con más detalle en el Apéndice. Los valores de la red calculados para EU provienen de estadísticas de generación de energía eléctrica y asociado con la contaminación atmosférica y para US de la estadística procedente de EPA's eGRID PM 2.5 se estimó mediante datos procedentes de National Renewable Energy Laboratory .

Tabla 5.-Comparación entre los factores de emisión de las redes eléctricas de US y EU(g/kWh)

Contaminante	US	EU-28
NO <sub>x</sub>	0,73	0,497
SO <sub>x</sub>	1,07	0,536
PM2.5	-----	0,017
PM10	0,042	0,028

El impacto económico asociado con la conversión de los sistemas eléctricos de los barcos una vez se desconectan los motores auxiliares de a bordo mientras se suministra corriente de tierra(OPS) es bastante relevante. La mayoría de los barcos actualmente están diseñados para recibir corriente de tierra sólo para largas estancias en Puerto y cuando sólo se requiere energía eléctrica para los servicios básicos del barco y la seguridad del personal.

En la tabla 6 Se presenta un breve análisis de los diferentes tipos de barco, indicando la potencia media consumida y los niveles de voltaje y amperaje necesarios suministrados por los generadores de a bordo para desarrollar las diferentes operaciones.

Los costes que aparecen sólo representan una primera aproximación. En caso de no disponer de datos procedentes del barco, la carga eléctrica puede ser estimada por comparación entre barcos similares. Los costes de OPS

(suministro e instalación de los equipos necesarios) se estiman por una lista de barcos con sus características de sistemas eléctricos conocidos.

Tabla 6.- Costes aproximados de instalaciones OPS en US.

Coste de adaptación de los barcos para OPS					
N.	Ship Name	kW	Voltios	Amperios	Costes (€)
1	Alaskan Frontier	7.800	6.600	850	367.000
2	Ecstasy	7.000	6.600	765	460.959
3	OOCL California	5.200	450	8.300	786.200
4	Hanjin Paris	4.800	450	7.700	888.189
5	Chiquita Joy	3.500	450	5.600	603.101
6	Chevron Washington	2.300	4.160	400	305.165
7	Lihue	1.700	450	2.800	362.985
8	Pyxis	1.500	450	2.420	332.469
9	Victoria Bridge	700	450	1.120	237.707
10	Ansac Harmony	600	450	960	237.707
11	Thorseggen	600	450	960	189.523
12	Groton	300	450	480	162.219

### Beneficios para las líneas de cruceros

El siguiente paso sería analizar los costes del suministro de electricidad desde tierra frente a los costes de combustible producidos por el propio barco.

Como media un barco de crucero (dependiendo del tamaño) requiere una media de 0,13 toneladas métricas de combustible por hora, para generar 1 MWh de electricidad. La misma cantidad de MWh en costos medios de electricidad de origen terrestre es de 70,59€. No obstante, para obtener los máximos beneficios económicos hay que tener en cuenta los precios en cada momento del petróleo por tonelada métrica y los costos de electricidad, teniendo que encontrar el equilibrio entre ambos. Es

importante tener en cuenta el tipo de combustible (RO y MDO). Hasta ahora, el combustible más usado en puerto ha sido el RO utilizado, pero a partir del 1 de enero de 2010 los buques están obligados a utilizar MDO en los puertos de la UE. El precio medio del combustible de enero - julio de 2009 por RO fue de 296 \$/Tonelada métrica, el precio medio de MDO de enero-julio de 2009 fue de 462 \$/Tonelada métrica. Habría que hacer estos cálculos suponiendo precios actualizados por MWh

En base a lo anterior, otro factor determinante sería el consumo de combustible en el muelle, es decir, con el barco atracado, La pregunta es ¿cuál es la mayor cantidad de consumo de combustible de los buques estando atracados? Se podría partir, por ejemplo, de un valor medio de 0,13 toneladas métricas por MWh pero este valor se aplicaría sólo a los grandes cruceros.

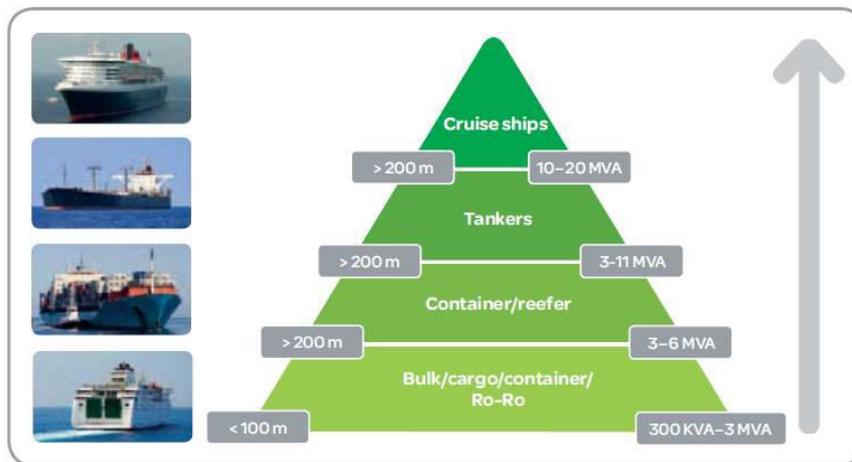
Parece ser que La Comisión Europea está considerando la eliminación de los impuestos (IVA) sobre el consumo eléctrico terrestre para los buques que habiliten sus instalaciones al uso de esta fuente de energía y de esta forma incentivar o compensar los costes económicos que dicha adaptación conlleva lo cual supondría un gran ahorro.

CARB estima que los factores de emisión para barcos atracados debería ser producida por plantas energéticas que usen gas natural como combustible así como con plantas energéticas que utilicen tecnologías catalíticas de reducción de emisiones de tal manera que los factores de emisión de de NO<sub>x</sub> es 0.02 g/kWh y el de PM<sub>10</sub> es 0.11 g/kWh. CARB estima reducciones cuando se usa OPS solamente en NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub>.

Se trataría del uso de generadores en contenedores móviles instalados en los muelles, que al ser móviles poseerán mucha mayor facilidad de adaptación con motores térmicos que utilicen Gas natural Comprimido o gas natural licuado(LNG)

La tabla 8 muestra las distintas potencias necesarias en instalaciones OPS para suministro a los distintos tipos de barcos atracados.

Tabla 8. Energía necesaria a suministrar por tipo de buques cuando están atracados



Cabe reseñar que los barcos de la Armada tanto Española como de Estados Unidos están equipados con OPS desde hace muchas décadas.

El 5º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC considera, por ejemplo, que los potenciales de calentamiento global del CH<sub>4</sub> y del N<sub>2</sub>O son 28 y 265 veces superiores, respectivamente, que el del CO<sub>2</sub>. En el supuesto de considerar despreciables las emisiones de HFC, PFC, SF<sub>6</sub> y NF<sub>3</sub>, las emisiones de CO<sub>2</sub>eq se han calculado, en este caso, aplicando la expresión siguiente:

$$\text{Gramos CO}_2\text{eq} = \text{gramos CO}_2 + 28 * \text{gramos CH}_4 + 265 * \text{gramos N}_2\text{O}$$



## 2.- METODOLOGÍA

Para dar respuesta a los objetivos del Proyecto, se ha procedido al cálculo de las siguientes magnitudes:

1.- Cuantificación de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero producidas por cada tipo de barco, agrupados en cuatro grandes grupos referidos a la base de datos suministrada por Puertos del Estado.

1.1.- Cálculo utilizando factores de emisión expresados en gramos de contaminantes por energía entregada por los motores (g/kWh).

1.2.- Cálculo utilizando factores de emisión expresados en kg de contaminantes por tonelada de combustible consumido (kg de contaminante/Tonelada de combustible consumido).

2.- Cuantificación del consumo de combustible por cada tipo de barco, agrupados en cuatro grandes grupos referidos a la base de datos suministrada por Puertos del Estado empleando consumos específicos tanto constantes como variables con la carga del motor.

## 2.1.- Ecuaciones empleadas

Se han empleados dos supuestos:

### 2.1.1.- Barco atracado.

En este caso, se ha usado la metodología CARB (30) definida por las siguientes ecuaciones.

$$E = P_{MA} * FE * FC * H \quad [1]$$

Donde:

E= Total de emisiones por tipo de contaminante

FE = Factores de Emisión específico para cada contaminante ( g/kWh)

$P_{MA}$  = Potencia de motores auxiliares 100% MCR (kW)

FC = Factor de Carga de los motores auxiliares (%MCR)

H = Horas atracados

Conviene aclarar que desarrollar una metodología para el cálculo de emisiones cuando se apagan los motores auxiliares de los barcos y se usan instalaciones OPS, es algo que se podría considerar como flexible principalmente porque la potencial reducción de emisiones cuando se usa OPS depende de un número considerable de factores locales y regionales. Esto incluye, además de otras cosas, las características de operación de los

barcos que usan OPS, el tipo de combustible que consumen y futuras fuentes de energía que se puedan emplear en la red.

Por lo tanto, el marco para calcular la reducción de emisiones que se consigue cuando se usa OPS, debe tener en cuenta futuros cambios en las características de los barcos, del combustible, tecnologías de reducción de emisiones tanto a bordo como en tierra, etc..

Mientras existen algunos parámetros que pueden considerarse fijos (Número de atraques, tiempo atracado), existen otros que son menos ciertos como pueden ser la potencia de los motores auxiliares, carga de los motores auxiliares durante la fase de generación de energía eléctrica y emisiones procedentes de la red eléctrica.

En este estudio, los cálculos se desarrollaron tomando como modelo base el de Corbett y Comer quienes estimaron la reducción de emisiones que se produce utilizando OPS en el Puerto de Charleston, SC para los años 2015 y 2019. Para ello utilizaron el modelo (SPADE). El modelo calcula las emisiones incorporando factores de emisión usando la base de datos CARB (2011) y EPA (2009).

Los datos de entrada al modelo empleado han sido:

Barco:

- Potencia 100% MCR (kW)



- Factor de carga de los motores auxiliares cuando el barco está atracado (adimensional).
- Potencia atracado (Producto de la potencia 100%MCR(kW) por el factor de carga de los motores)
- Valores de los Factores de emisión por contaminante para cada tipo de motor auxiliar del barco en g/kWh.

Actividad :

- Número de Barcos que atracan al año
- Horas que está atracado cada barco
- Horas de atraque anuales( Producto de número de barcos por número de horas atracados)
- Consumo de energía anual de barcos atracados(Producto de la potencia desarrollada por todos los barcos atracados por horas anuales)
- Potencia Eléctrica suministrada desde tierra(OPS)

Energía Eléctrica generada por cada instalación (MWh)

- Emisiones (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) por cada instalación
- Factores de emisión (relación entre el total de emisiones y el de energía eléctrica generada)

### 2.1.1.2.- Potencia instalada en motores principales

Si se conoce exactamente el número de atraques de todos los barcos y las características que se quieren analizar, se puede, a través del número IMO, conocer características como la potencia total instalada en sus motores principales. En este estudio se ha utilizado la base de datos de Lloyd's PC Register of Ships.

En esa misma base de datos puede que aparezcan los valores de potencia instalada en los motores auxiliares pero no es lo usual. Normalmente habrá que calcular la potencia de auxiliares como una fracción de la de principales. Esta fracción varía dependiendo del tipo de barco.

Normalmente, para el cálculo de los inventarios de emisiones del transporte marítimo, se utilizan bases de datos en las que aparecen, entre otros, valores de potencia de motores principales de propulsión pero no es común que aparezcan los valores de potencia de motores auxiliares. En ese caso el valor de la potencia 100% MCR de los motores auxiliares hay que calcularlo como una fracción de la de los motores principales. En este trabajo se ha utilizado la base de datos de Lloyd's en la que hay un gran número de valores de potencia de motores auxiliares que no aparecen.

Las tablas 9, 10 y 11 muestran los procedimientos de cálculos de estos valores según diversos autores.

Los motores auxiliares de barcos cuando están atracados (hotelling) generalmente no operan a 100% de su potencia MCR. El porcentaje de la potencia con la que operan se denomina “ factor de carga.” Se debe asumir

que este factor de carga no es un factor rutinario, depende de momentos puntuales de demanda de energía. EPA (2009) y otros autores (e.g., Corbett and Comer, 2013) incorporan en sus estudios la metodología CARB que define los factores de carga de los motores auxiliares por tipo de barco. CARB también usa las bases de datos de ENVIRON Starcrest’s vessel boarding program, y Lloyd’s-Fairplay para el cálculo de los factores de carga de los motores auxiliares. Las tablas 9, 10 y 11 reflejan estos valores. No obstante, actualmente, las Navieras desarrollan el denominado “Noon Report” que, entre otros, refleja los valores de potencia entregada por los motores auxiliares en distintas situaciones.

Tabla 9.- Potencia Instalada y factor de carga de diversos tipos de barco

Tipo de barco	Nombre	Ton. Re. Bruto	Número M.A.	Potencia Instalada	Potencia Bruta	Factor de Carga(%)
Contenedores	V.Bridge	47.541	4	5.440	600	11%
	H. Paris	65.453	4	7.600	4.800	63%
	Lihue	26.746	2	2.700	1.700	63%
	OOCL	66.046	4	8.400	950	62%
Frigoríficos	Ch. Joy	8.665	5	5.620	3.500	62%
Cruceros	Ecstasy	70,367	2	10,560	7,000	66%1
Cargas líquidas	A.Frontier	185,000	4	25,200	3,780	15%
	Chevron	22,761	2	2,600	2,300	89%
	Groton	23,914	2	1,300	300	23%
Carga seca	Harmony	28,527	2	1,250	625	50%
Coches	Pyxis	43,425	3	2,160	1,510	70%
Graneleros	Thorseggen	15,136	3	2,100	600	29%

Fuente : VOLUME I – REPORT COLD IRONING COST EFFECTIVENESS PORT OF LONG BEACH 925 HARBOR DRIVE LONG BEACH, CALIFORNIA. ENVIRON 2004

Tabla 10.- Potencia Instalada y factor de carga de diversos tipos de barco

Tipo de carga	Potencia Principales(kW)	Potencia media Auxiliares (kW)	Relación Aux./Princ.	Factor carga
Coches	10,700	2,850	0.266	24%
Graneleros	8,000	1,776	0.222	22%
Contenedores	30,900	6,800	0.220	17%
Cruceros	39,600	11,000	0.278	64%
Carga general	9,300	1,776	0.191	22%
Misceláneos	6,250	1,680	0.269	22%
RORO	11,000	2,850	0.259	30%
Frigoríficos	9,600	3,900	0.406	34%
Cargas líquidas	9,400	1,985	0.211	67%

Fuente: Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports. Transportation and Climate Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency. LLC EPA Contract No. EP-C-11-046 Work Assignment No. 4-06.

Tabla 11.- Potencia media instalada en motores auxiliares y factor de carga por tipo de barco

Tipo de Barco	Tamaño (TEU)	Potencia media(kW) Instalada MM.AA.	Factor carga atracado
Contenedor	<2000	3536	18%
Contenedor	2000-2999	5235	22%
Contenedor	3000-3999	5794	22%
Contenedor	4000-4999	8184	22%
Contenedor	5000-5999	11.811	18%
Contenedor	6000-6999	13.310	15%
Contenedor	7000-7999	13.713	15%
Crucero	N/A	45.082*	16%
Frigorífico	N/A	3696	32%

Fuente: CARB. (2007).

<http://www.arb.ca.gov/regact/2007/shorepwr07/shorepwr07.htm>

\*La mayoría de los cruceros no tienen motores auxiliares, en su lugar utilizan una fracción de la potencia de motores principales cuando están en Puerto

El otro parámetro que interviene en la ecuación [1] y que tiene una relación directa con las emisiones, es el del factor de emisión por cada contaminante.

En este sentido, CARB utiliza factores de emisión que son consistentes con aquéllos otros utilizados en los inventarios de emisiones de los Puertos de San Diego, Los Angeles, Long Beach, y Oakland, aunque CARB desarrolló un estudio y realizó algunos ajustes para los factores de emisión del SO<sub>2</sub> y PM para los motores auxiliares quemando HFO basado en resultados publicados en 2005 por ARB Ocean Going Vessel Survey y una revisión de tests de emisiones y literatura científica. Para el inventario de 2006 algunos de los motores auxiliares fueron preparados para operar con HFO;

Aunque las estimaciones para 2014 y 2020 fueron realizadas suponiendo que el contenido de Azufre en MDO sería 0.1% de acuerdo con la Regulación de California de que ese contenido sería obligatorio para barcos navegando dentro de las 24 millas náuticas . El valor de estos factores está representado en la tabla 12

Tabla 12.- Factores de Emisión (TIER I) para motores auxiliares,.

Tipo de Combustible	PM	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	HC	CO
HFO	1.5	14.7	11.1	0.4	1.1
MDO	0.3	13.9	2.1	0.4	1.1
MDO (0.1% S)	0.25	13.9	0.4	0.4	1.1

Fuente: CARB ,2007 (g/kWh)

### 2.1.1.3.- Factores de emisión de los motores auxiliares

Los factores de emisión de los motores auxiliares son extremadamente importantes para calcular el total de emisiones vertidas a la atmósfera desde los barcos atracados cuando estos operan con los motores de a bordo. .

CARB (2007, 2011) y otros (Corbett and Comer, 2013; EPA, 2009) han basado los valores de dichos factores en un estudio de (2002). Esos factores de emisión se muestran en la tabla 13 que expresa sus valores en función del tipo de combustible.

Para la mayoría de los cálculos debería tomarse como base los valores próximos a MDO (0.1% S). hay que tener en cuenta que los valores mostrados en esa tabla se deben aplicar sólo a motores construidos antes del 2011. Los construidos después del 1 de Enero de 2011 deben usar los valores de los factores de NO<sub>x</sub> correspondientes a Tier II y Tier III descritos en la tabla 13.

Tabla 13. Factores de emisión de motores auxiliares(velocidad media) en g/kWh,

Combustible	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>
MDO (0.1% S)	0.09	1.10	690	13.9	0.25	0.23	0.40
MDO (0.5% S)	0.09	1.10	690	13.9	0.38	0.35	2.10
HFO	0.09	1.10	722	14.7	1.50	1.46	11.10

Fuente: CARB (2011).

Los barcos que operan dentro de la zona ECA de US están obligados a operar con un máximo de contenido de Azufre en el combustible de 0.1% a partir de 1 de Enero de 2015, según MARPOL Annex VI Regulación 14. Además, bajo MARPOL Annex VI Regulación 13 Tier II, requiere aproximadamente una reducción de 20% en las emisiones de NOx comparándola con los estándares Tier I NOx standards para motores instalados en los barcos construidos en o después de 2011. Además, los estándares Tier III requieren una reducción del 80% comparado con los valores de Tier I de NOx para barcos en o después de 1 de Enero de 2016 y operando dentro de una zona ECA.

Por tanto, los valores de los factores de emission de NOx que operan con un contenido máximo de 0.1% S MDO deberían ser los siguientes valores:

- 11.1 g/kWh NOx para barcos construidos en o después de 1/1/2011 (Tier II)
- 2.78 g/kWh NOx para barcos construidos en o después de 1/1/2016 y operando en una zona ECA (Tier III)

#### 2.1.1.4.- Entradas anuales por cada tipo de barco

El uso de datos históricos de todas las veces que cada barco entra en Puerto puede ser usado en el análisis de los beneficios que supone la instalación de OPS en Puertos. Habría que distinguir los tipos de barcos(contenedores, pasajeros, frigoríficos, etc..). Los puertos grandes suelen tener esos datos a mano e incluso se hacen públicos. El mejor camino para estimar las entradas en puertos de cada tipo de barco debe ser analizado para cada puerto en particular.

#### 2.1.1.5.- Horas de permanencia en puerto

Para definir el número de horas que el barco permanece atracado por cada entrada, lo mejor es utilizar datos de la propia Autoridad Portuaria que tienen registrados exactamente este dato disminuyendo así el grado de incertidumbre. También podría utilizarse el sistema AIS para este fin teniendo en cuenta que cuando el barco está atracado, el valor de la velocidad es cero. En el caso de que el barco utilice OPS, el tiempo de conexión debe ser descontado del total correspondiente a velocidad cero.

#### 2.1.1.6.- Energía Eléctrica generada por cada instalación

Una vez calculada la potencia necesaria por cada instalación derivada de la energía demandada por el/los barco/s, hay que tener en cuenta las pérdidas de carga por longitud relacionada con la distancia entre el lugar donde se produce la energía eléctrica hasta el punto de suministro del barco. Por ejemplo, si la energía demandada fuera de 10.000 MWh y las pérdidas por

transmisión fueran estimadas en un 6%, la red debe generar aproximadamente 10.640 MWh (Potencia demandada / (1 – Pérdidas por transmisión)).

Es importante conocer la generación de electricidad por cada instalación porque el paso siguiente sería determinar las emisiones atmosféricas por cada instalación con el objetivo de definir los factores de emisión procedentes de la generación de energía desde tierra.

#### 2.1.1.7.- Emisiones por instalación

Los datos históricos de emisiones producidas por las centrales térmicas, son datos públicos que pueden ser consultados aunque no suelen ser públicos datos de contaminantes como PM y CO por ejemplo.

Tanto la energía entregada como las emisiones producidas por cada instalación deben ser analizadas para definir el valor de los factores de emisión. Para obtener el factor de emisión de cada contaminante, habrá que dividir la masa total de cada contaminante emitido por todas las instalaciones por el total de energía eléctrica generada por todas aquellas instalaciones durante un año.

En la tabla 13 aparecen los factores de emisión calculados para 16 instalaciones en US durante el año 2015 (Corbett and Comer 2013). Aunque hay que tener en cuenta que en dicho cálculo están incluidas 4 plantas hidroeléctricas y una nuclear cuyas emisiones son “prácticamente cero”.

Tabla 14. Factores de emisión en g/kWh de 16 instalaciones en US durante el año 2015

CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
0.088	0.344	0.203	0.152	1.13	514

### 2.1.2.- Ecuaciones a emplear para grupo de barcos concretos

Cálculo de emisiones cuando se emplea la energía procedente de los motores auxiliares de los barcos cuando están atracados.

A continuación se exponen las ecuaciones que se han de emplear para estimar las emisiones anuales cuando se emplean los motores auxiliares cuando los barcos están atracados, están basadas en CARB's (2007) y Corbett and Comer (2013).

$$EB_{a,b,c} = PMP_b * FMA_b * FC_b * \frac{N_{b,c}}{\text{año}} * \frac{T_{b,c}}{N} * FEB_{a,b,c} \quad [2]$$

$EB_{a,b,c}$  = Total de emisiones del barco por cada contaminante "a", por cada tipo de barco "b" durante el año "c".

$PMP_b$  = Potencia media de Motores principales(kW) por cada barco de tipo "b"

$FMA_b$  = Fracción de Potencia de los motores principales atribuible a la potencia de Motores Auxiliares (kW) para cada tipo de barco "b".

$FC_b$  = Factor de carga de los Motores Auxiliares cuando están atracados para cada tipo de barco "b".

$N_{b,c}$  = Número de estancia durante el año por cada tipo de barco.

$T_{b,c}$  = Horas atracados por cada tipo de barco "b" en el año "c".

$FEB_{a,b,c}$  = Factor de emisión por cada contaminante "a", por tipo de barco "b" durante el año "c"

Cálculo de emisiones cuando se emplea la energía procedente de las instalaciones de OPS



$$EO_{a,b,c} = PMP_b * FMA_b * FC_b * \frac{N_{b,c}}{\text{año}} * \frac{T_{b,c}}{N} * FEO_{a,b,c} \quad [3]$$

$EO_{a,b,c}$  = Total de emisiones del barco por cada contaminante "a", por cada tipo de barco "b" durante el año "c".

$PMP_b$  = Potencia media de Motores principales(kW) por cada barco de tipo "b"

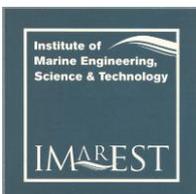
$FMA_b$  = Fracción de Potencia de los motores principales atribuible a la potencia de Motores Auxiliares (kW) para cada tipo de barco "b".

$FC_b$  = Factor de carga de los Motores Auxiliares cuando están atracados para cada tipo de barco "b".

$N_{b,c}$  = Número de estancia durante el año por cada tipo de barco.

$T_{b,c}$  = Horas atracados por cada tipo de barco "b" en el año "c".

$FEO_{a,b,c}$  = Factores de emisión correspondientes a OPS por cada contaminante "a", durante el año "c"



### 3.- RESULTADOS

La metodología se ha aplicado a un total de registros repartidos por Pueros de la siguiente manera:

Las Palmas: 5.610 registros

Palma de Mallorca: 2.420 registros

Santa Cruz de Tenerife: 3.875 registros

Pasajes: 448 registros

Estos registros representan las entradas a los puertos durante último semestre del año 2017 producidas por 1.924 buques; estos han sido extraídos de una base de datos con 18.783.612 registros suministrados por Puerto del Estado dónde se daba un registro por variación en la velocidad registrada por el buque a su entrada en aguas portuarias.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

### 3.1.- CONTAMINANTES POR PUERTO

Para el análisis de resultados los barcos se agrupado en cuatro categorías según la base de datos suministrada por Puertos del Estado, de la siguiente manera:

**CISTERNAS:** Combined bulk and oil carrier; asphalt tanker; chemical tanker; liquefied natural gas carrier ; bunkering tanker; liquefied petroleum gas carrier; product tanker; crude oil tanker; combined chemical and oil tanker; LNG floating storage regasification unit.

**CARGUEROS:** Research; supply; wood-chip carrier; bulk cement carrier; fish Factory; roll on roll off with container capacity; support; reefer; fully cellular containership; bulk carrier; vehicle carrier; bulk carrier with container capacity; general cargo; general cargo with container capacity; semi-sub HL vessel.

**PASAJEROS:** Yacht; livestock; passenger ro/ro; passenger (cruise).

**HSC:** Vessel type (unspecified).

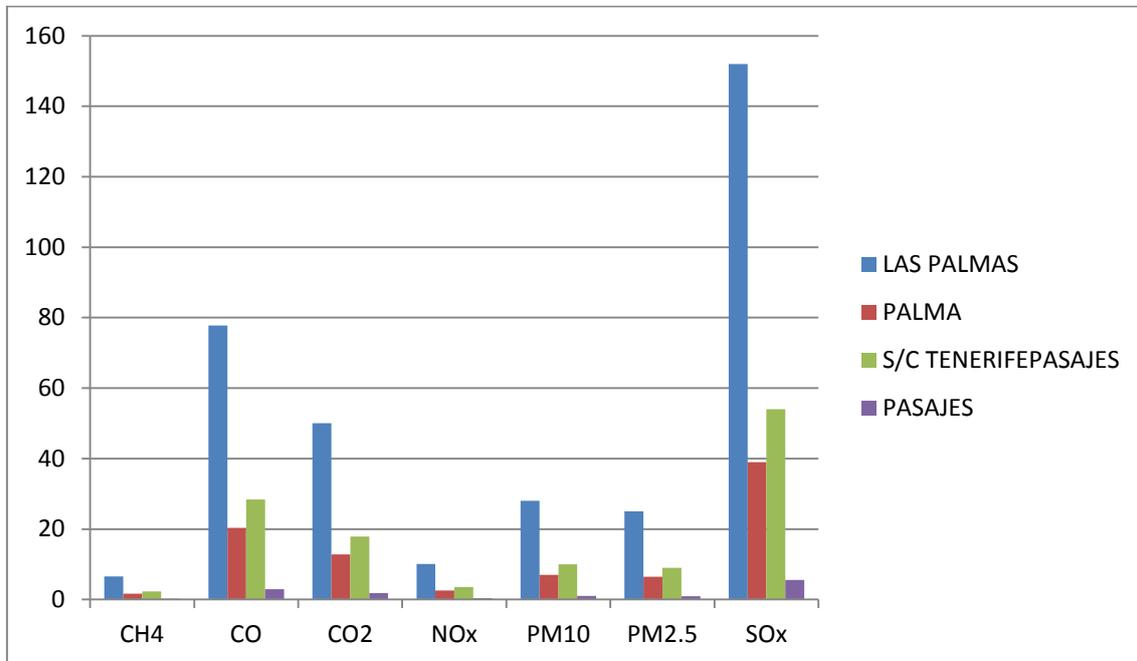


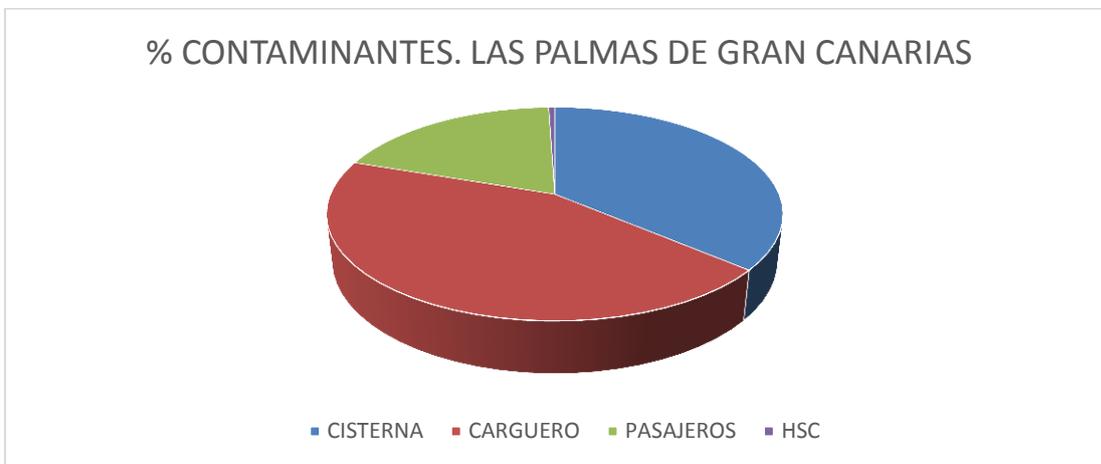
Gráfico 1.- Toneladas totales por contaminante y Puerto

PUERTO	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>
LAS PALMAS	6,53	79,78	50041,99	1008,09	27,56	25,38	152,30
PALMA DE MALLORCA	1,67	20,37	12778,97	257,43	7,04	6,48	38,89
SANTA CRUZ TENERIFE	2,33	28,43	17835,72	359,30	9,82	9,05	54,28
PASAJES	0,24	2,93	1837,00	37,01	1,01	0,93	5,59

### 3.2.- TONELADAS DE CONTAMINANTES POR BUQUE Y PUERTO

#### 3.2.1.- Las Palmas de Gran Canarias

TIPO DE BUQUE	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>
CISTERNA	2,37	28,91	18132,31	365,27	9,99	9,20	55,19
CARGUERO	2,87	35,11	22026,24	443,72	12,13	11,17	67,04
PASAJEROS	1,26	15,34	9623,40	193,86	5,30	4,88	29,29
HSC	0,03	0,41	260,04	5,24	0,14	0,13	0,79



### 3.2.2.- Palma de Mallorca

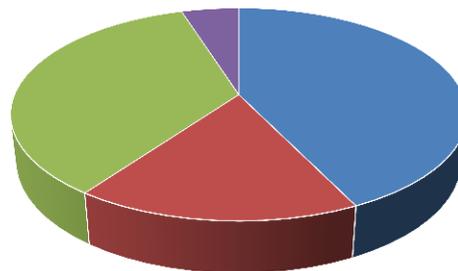
TIPO DE BUQUE	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>
CISTERNA	0,13	1,62	1018,93	20,53	0,56	0,52	3,10
CARGUERO	0,04	0,49	308,58	6,22	0,17	0,16	0,94
PASAJEROS	1,49	18,26	11451,46	230,69	6,31	5,81	34,85
HSC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



### 3.2.3.- Santa Cruz de Tenerife

TIPO DE BUQUE	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>
CISTERNA	1,00	12,18	7642,29	153,95	4,21	3,88	23,26
CARGUERO	0,40	4,85	3040,01	61,24	1,67	1,54	9,25
PASAJEROS	0,82	10,02	6287,01	126,65	3,46	3,19	19,13
HSC	0,11	1,38	866,41	17,45	0,48	0,44	2,64

% CONTAMINANTES S/C TENERIFE



■ CISTERNA ■ CARGUERO ■ PASAJEROS ■ HSC

### 3.2.4.- Pasajes

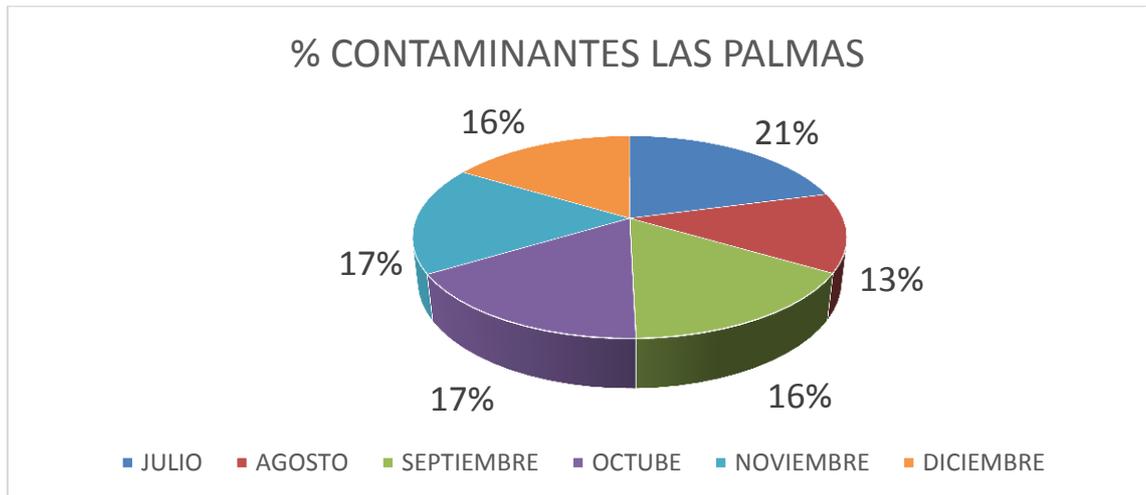
TIPO DE BUQUE	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>
CISTERNA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CARGUERO	0,24	2,91	1822,36	36,71	1,00	0,92	5,55
PASAJEROS	0,00	0,02	14,64	0,29	0,01	0,01	0,04
HSC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



3.3.- Contaminantes por mes y puerto empleando factores de emisión por energía desarrollada por los motores

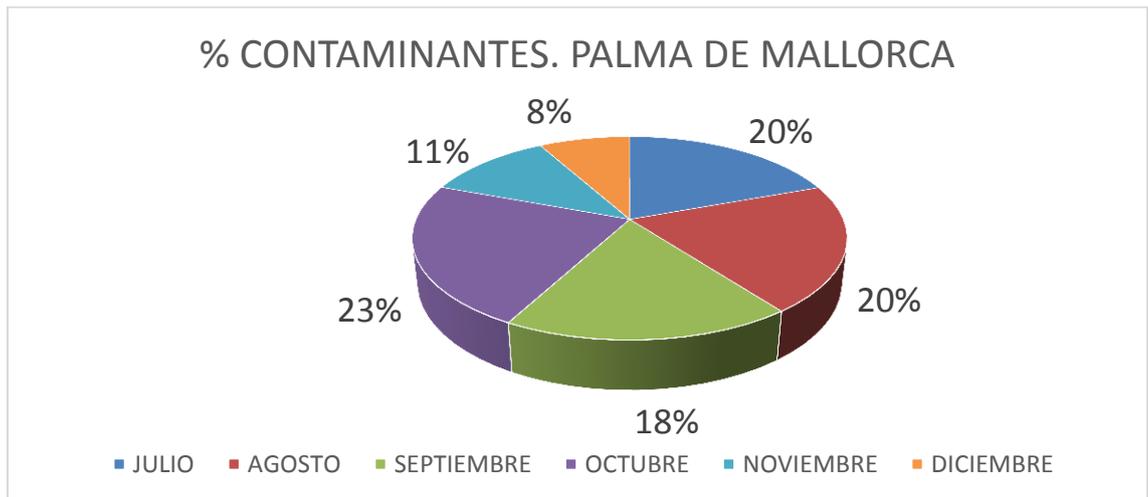
**3.3.1.- Las Palmas de Gran Canarias**

LAS PALMAS							
MES	CH4	CO	CO2	NOx	PM10	PM25	SOx
JULIO	1,36	16,64	10440,03	210,31	5,75	5,30	31,77
AGOSTO	0,83	10,10	6333,79	127,59	3,49	3,21	19,28
SEPTIEMBRE	1,05	12,84	8053,40	162,24	4,44	4,09	24,51
OCTUBE	1,09	13,34	8364,96	168,51	4,61	4,24	25,46
NOVIEMBRE	1,13	13,80	8655,22	174,36	4,77	4,39	26,34
DICIEMBRE	1,07	13,06	8194,59	165,08	4,51	4,16	24,94



### 3.3.2.- Palma de Mallorca

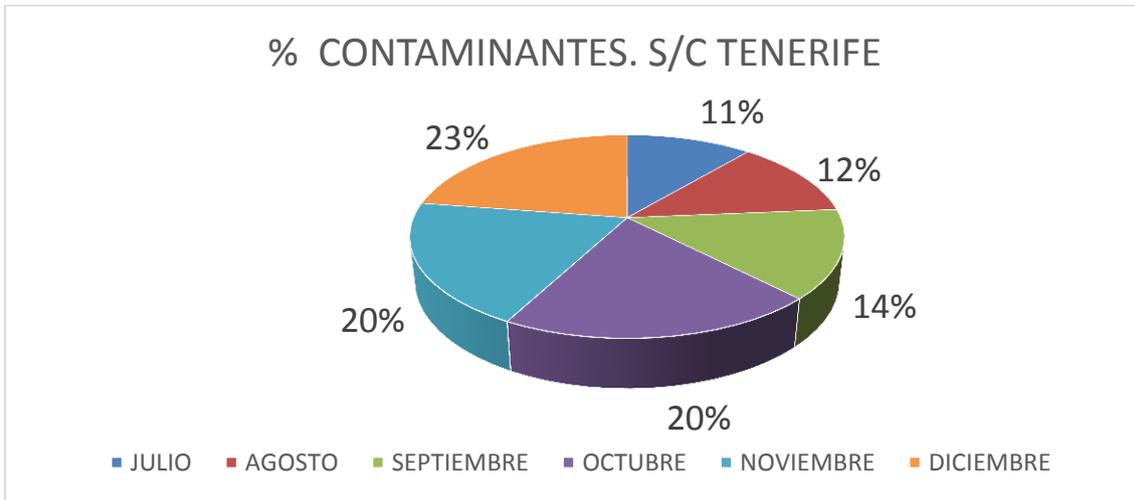
PALMA DE MALLORCA							
MES	CH4	CO	CO2	NOx	PM10	PM25	SOx
JULIO	0,32	3,96	2481,72	49,99	1,37	1,26	7,55
AGOSTO	0,34	4,13	2588,51	52,15	1,43	1,31	7,88
SEPTIEMBRE	0,30	3,71	2325,08	46,84	1,28	1,18	7,08
OCTUBRE	0,38	4,64	2912,12	58,66	1,60	1,48	8,86
NOVIEMBRE	0,19	2,29	1438,06	28,97	0,79	0,73	4,38
DICIEMBRE	0,13	1,65	1033,47	20,82	0,57	0,52	3,15





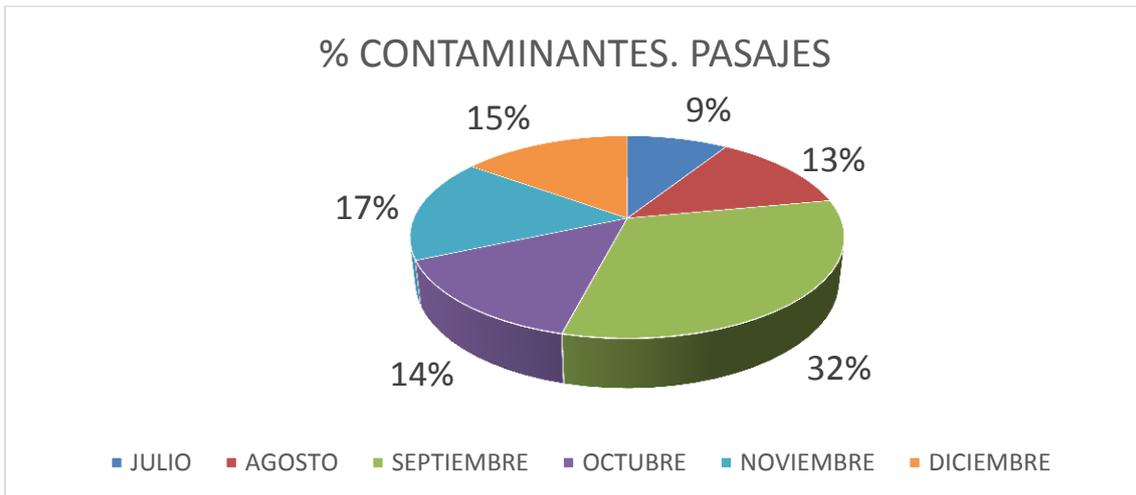
### 3.3.3.- Santa Cruz de Tenerife

S/C TENERIFE							
MES	CH4	CO	CO2	NOx	PM10	PM25	SOx
JULIO	0,26	3,16	1.984,46	39,98	1,09	1,01	6,04
AGOSTO	0,29	3,56	2233,27	44,99	1,23	1,13	6,80
SEPTIEMBRE	0,33	4,00	2508,38	50,53	1,38	1,27	7,63
OCTUBRE	0,47	5,70	3577,52	72,07	1,97	1,81	10,89
NOVIEMBRE	0,46	5,58	3498,34	70,47	1,93	1,77	10,65
DICIEMBRE	0,53	6,43	4033,74	81,26	2,22	2,05	12,28



### 3.3.4.- Pasajes

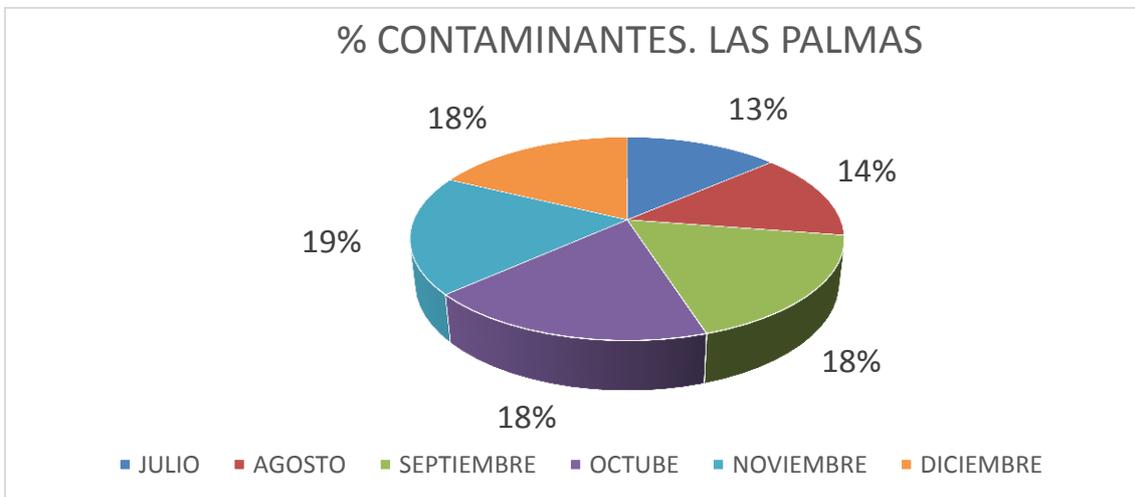
PASAJES							
MES	CH4	CO	CO2	NOx	PM10	PM25	SOx
JULIO	0,02	0,26	165,02	3,32	0,09	0,08	0,50
AGOSTO	0,03	0,38	239,36	4,82	0,13	0,12	0,73
SEPTIEMBRE	0,08	0,94	588,31	11,85	0,32	0,30	1,79
OCTUBRE	0,03	0,42	264,95	5,34	0,15	0,13	0,81
NOVIEMBRE	0,04	0,48	303,57	6,12	0,17	0,15	0,92
DICIEMBRE	0,04	0,44	275,80	5,56	0,15	0,14	0,84



3.4.- Contaminantes por mes y puerto ejmplendo factores de emisión expresados en kg. de contaminantes por toneladas de combustible consumidas

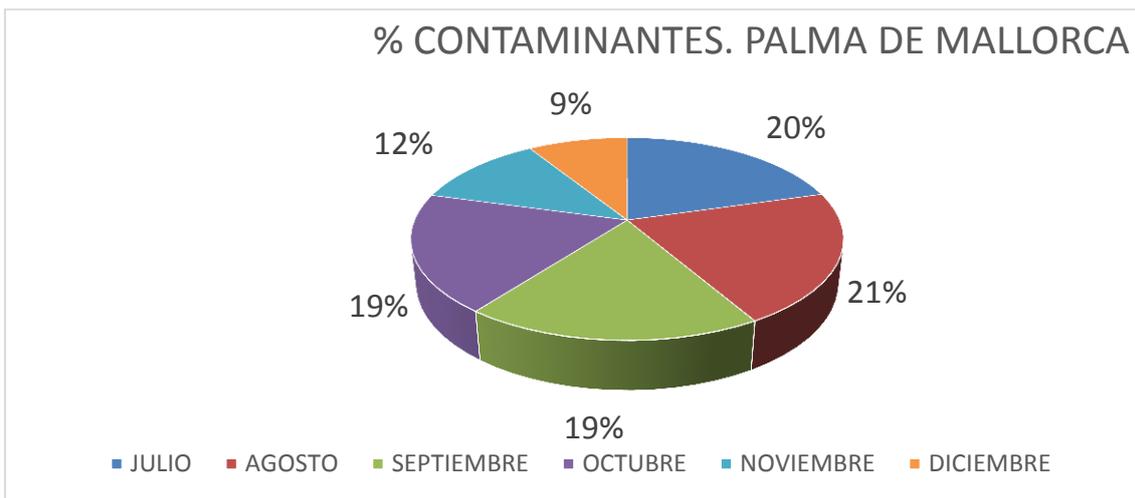
**3.4.1.- Las Palmas de Gran Canarias**

LAS PALMAS					
MES	NOx	SOx	CO2	HC	PM
JULIO	122,81	79,10	6619,17	3,75	5,20
AGOSTO	124,68	80,30	6720,11	3,80	5,28
SEPTIEMBRE	159,00	102,41	8569,73	4,85	6,74
OCTUBE	165,18	106,39	8902,90	5,04	7,00
NOVIEMBRE	170,32	109,70	9180,06	5,20	7,22
DICIEMBRE	160,21	103,19	8635,28	4,89	6,79



### 3.4.2.- Palma de Mallorca

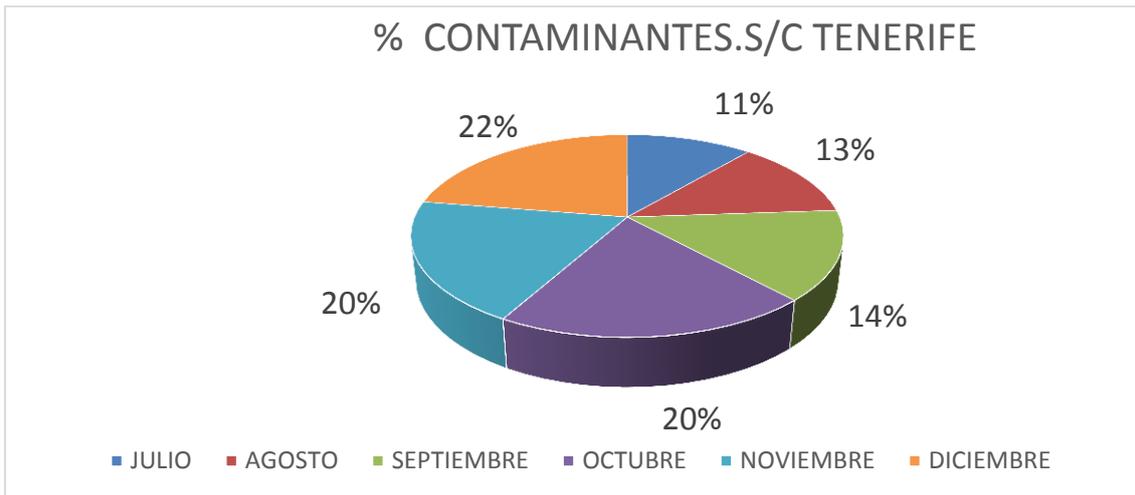
PALMA DE MALLORCA					
MES	NOx	SOx	CO2	HC	PM
JULIO	46,03	29,65	2480,94	1,40	1,95
AGOSTO	47,30	30,46	2549,43	1,44	2,00
SEPTIEMBRE	42,10	27,12	2269,20	1,28	1,78
OCTUBRE	42,43	27,33	2286,72	1,29	1,80
NOVIEMBRE	26,52	17,08	1429,27	0,81	1,12
DICIEMBRE	19,94	12,84	1074,65	0,61	0,84





### 3.4.3.- Santa Cruz de Tenerife

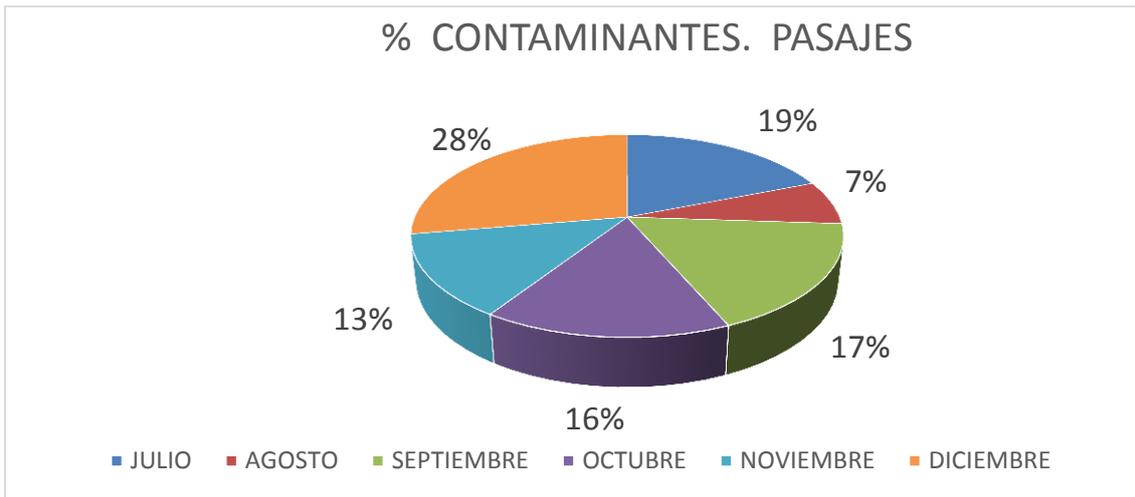
S/C TENERIFE					
MES	NOx	SOx	CO2	HC	PM
JULIO	38,81	24,99	2091,55	1,18	1,64
AGOSTO	43,71	28,15	2355,88	1,33	1,85
SEPTIEMBRE	49,20	31,69	2651,99	1,50	2,08
OCTUBRE	69,02	44,46	3720,24	2,11	2,92
NOVIEMBRE	67,12	43,23	3617,42	2,05	2,84
DICIEMBRE	77,47	49,90	4175,76	2,36	3,28





### 3.4.4.- Pasajes

PASAJES					
MES	NOx	SOx	CO2	HC	PM
JULIO	7,35	4,73	395,93	0,22	0,31
AGOSTO	2,72	1,75	146,81	0,08	0,12
SEPTIEMBRE	6,77	4,36	364,74	0,21	0,29
OCTUBRE	6,04	3,89	325,36	0,18	0,26
NOVIEMBRE	5,09	3,28	274,59	0,16	0,22
DICIEMBRE	10,70	6,89	576,93	0,33	0,45





### 3.5. CONSUMOS DE COMBUSTIBLE.

#### **3.5.1.-Consumo de combustible considerando el consumo específico de combustible variable con la carga de los motores**

<b>2ºSEMESTRE2017</b>	
<b>PUERTOS</b>	<b>(Toneladas)</b>
LAS PALMAS	16725,27
PALMA	3801,96
SC TENERIFE	5853,10
PASAJES	655,08

#### **3.5.2.- Consumo de combustible considerando constante el consumo específico de combustible**

<b>2ºSEMESTRE2017</b>	
<b>PUERTOS</b>	<b>Toneladas</b>
LAS PALMAS	15444,09
PALMA	3673,64
SC TENERIFE	5505,81
PASAJES	567,07

## 4.- REFERENCIAS

1. Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports. EPA-420-R-17-004 March 2017
2. WPCI. World Ports Climate Initiative
3. World Health Organization. Burden of disease from Household Air Pollution for 2012
4. <http://www.cleanairactionplan.org/2017-clean-air-action-plan-update/>
5. *Third Report to Congress: Highlights from the Diesel Emission Reduction Program*, EPA, EPA-420-R-16-004, February 2016. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100OHMK.pdf>; *Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust*, prepared by the National Center for Environmental Assessment for EPA, 2002; *Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes*, International Agency for Research on Cancer (IARC), World Health Organization, June 12, 2012. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol105/>
6. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100NFFD.PDF?Dockey=P100NFFD.PDF>. <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-control-emissions-newmarine-compression-0> reduce port-related emissions throughout the U.S. <https://www.epa.gov/portsinitiative/national-port-strategy-assessment>. The NPSA and the *Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports* support EPA's Ports Initiative to improve air quality around ports
7. [www.visioneuproject.eu](http://www.visioneuproject.eu)
8. [www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html](http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html)
9. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=105&t=3>
10. <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?end=2013&start=1960>
11. Corbett, J. J., & Comer, B. (2013). *Clearing the air: Would shoreside power reduce air pollution emissions from cruise ships calling on the Port of Charleston, SC?* Pittsford, NY: Energy and Environmental Research Associates. Retrieved from <http://coastalconservationleague.org/wp-content/uploads/2010/01/EERA-Charleston-Shoreside-Power-Report-.pdf>
12. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_production,\\_consumption\\_and\\_market\\_overview](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview)
13. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/air-emissions-viewer-lrtap>
14. <https://www.epa.gov/energy/egrid>
15. <http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/38617.pdf>