

# **Greenhouse Gases Emissions From Maritime Transport: An Estimation of the Route Gran Canaria-Tenerife**

**Esteban Sánchez Martínez**

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

**María Manuela González Serrano**

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

## **RESUMEN**

El transporte marítimo juega un papel fundamental en el debate sobre ecología y transporte. Al ser un actor fundamental en el desarrollo económico, el transporte marítimo es un importante emisor de gases de efecto invernadero (GEI). En las Islas Canarias, debido a la fragmentación geográfica y la importancia del sector terciario, las conexiones marítimas son capitales para el porvenir de la región.

Este análisis estima las emisiones y el consumo de combustible de la principal ruta marítima de las Islas Canarias: Gran Canaria-Tenerife, utilizando para ello un full bottom-up approach y factores de emisión, en conjunción con información aportada por las dos principales empresas de transporte naval en Canarias.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Debido a la condición de archipiélago, el transporte marítimo en Canarias tiene especial relevancia en la región. El sector terciario además es la principal fuente de riqueza, ya que el turismo es el sector más desarrollado en la zona. Dichos factores sumados a la distribución de la población y la interdependencia de las islas generan la necesidad de rutas interinsulares continuas (Hernández, 2010).

A diferencia de otras comunidades, el cabotaje marítimo interinsular no está completamente liberalizado, ya que se considera que existen diversas líneas en las que el establecimiento de la obligación de servicio público es indispensable para el funcionamiento de éstas. Esto significa que para operar diversas rutas es necesario establecer una frecuencia mínima, así como otras condiciones, como se establece en la LEY 12/2007, de 24 de abril, de Ordenación del Transporte Marítimo de Canarias (Gobierno de Canarias, 2007). Este hecho genera un conflicto entre lo que la legislación considera necesario y lo que es eficiente, ya que en diversas líneas se da el hecho de que la oferta supera considerablemente la demanda, significando en un incremento de emisiones a priori innecesario.

El transporte marítimo es responsable de emisiones de diversos gases de efecto invernadero, a destacar CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En España fue responsable de 3.324 Gg de CO<sub>2</sub>

equivalente en 2014, y la importancia relativa de las emisiones del sector se ha incrementado cada año desde los 90 (Ministerio de Medio Ambiente, 2011). Sin embargo no existe regulación efectiva sobre optimización de las rutas.

El presente análisis mostrará una estimación de las emisiones y el consumo de combustible de la ruta Gran Canaria-Tenerife, la cual es la más importante de las Islas Canarias, al unir las dos islas más pobladas. Para el cálculo se utilizará un full bottom-up approach y factores de emisión, en conjunción con información aportada por las dos principales empresas de transporte naval en Canarias.

## 2. METODOLOGÍA

Existen diversos métodos de estimación de emisiones de gases del sector marítimo. La precisión de éstos varía dependiendo de la finalidad del estudio y los datos disponibles. Las dos dimensiones a considerar a la hora de realizar un estudio son la cantidad de emisiones y dónde se produjeron, existiendo las metodologías “bottom-up” y “top-down”, subdividiéndose en cuatro modalidades de estimación (Miola & Ciuffo, 2011).

- Full top-down approach: las emisiones se calculan sin tener en consideración las características del navío.
- Bottom-up approach en la evaluación de las emisiones totales y top-down en la distribución geográfica: las emisiones de un navío se calculan para cierto período, para agregar dichos datos de un conjunto de barcos o flota.
- Top-down approach en la evaluación de las emisiones y bottom-up en la calificación geográfica: Se evalúa la actividad de una ruta, para agregarlas posteriormente para evaluar las emisiones totales geográficamente.
- Full bottom-up approach: se estiman las emisiones de un navío en un determinado punto, para posteriormente agregar éstas estimaciones con el fin de obtener el total de emisiones.
- 

Para el presente análisis se utilizará el método Full bottom-up, ya que se disponen de los datos técnicos de los barcos que operan la línea, siendo así posible estimar las emisiones individuales de cada barco, para posteriormente calcular el total de la ruta, como se describirá posteriormente.

En cuanto a los gases a analizar, para esta investigación serán los tres más importantes recogidos en el Protocolo de Kioto: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, utilizando los factores de emisión propuestos y utilizados en el inventario de gases de efecto invernadero de España, expuestos en la Tabla 1.

	CO <sub>2</sub> (t/t)	CH <sub>4</sub> (kg/t)	N <sub>2</sub> O (kg/t)
Fuelóleo	3,085	0,175	0,08
Gasóleo	3,138	0,095	0,08

**Tabla 1 – Factores de emisión de los principales GEI.**

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2011)

Además para representar los resultados de manera uniforme se ponderarán las emisiones en CO<sub>2</sub> equivalente, siendo los potenciales de calentamiento global los definidos en Tabla 2.

Potencial Calentamiento 100 años		
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	21
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	310

**Tabla 2 – Potencial de calentamiento global de los principales GEI**

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2011).

### 3. CÁLCULO EMISIONES RUTA GRAN CANARIA-TENERIFE

Para el presente análisis se tendrá en cuenta la existencia de las dos grandes empresas de transporte interinsular: Naviera Armas y Fred Olsen. Ambas operan desde distintos puertos en la isla de Gran Canaria, usando además barcos de características muy dispares, siendo necesario realizar un cálculo diferenciado entre ambas compañías. Ambas empresas han colaborado aportando información para la investigación.

#### 3.1 Cálculo consumo de combustible Naviera Armas

Naviera Armas opera la ruta desde el puerto de La Luz y de Las Palmas, localizado en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. El puerto de destino es el de Santa Cruz de Tenerife. Los datos de pasajeros de la ruta se encuentran en la Tabla 3, presentada a continuación.

Año	Pasajeros La Luz - Sta. Cruz	Pasajeros Sta. Cruz - La Luz	Total Pasajeros
2011	220.158	222.588	442.746
2012	214.994	215.212	430.206
2013	241.295	239.590	480.885
2014	191.800	195.436	387.236

**Tabla 3 – Evolución de pasajeros línea Gran Canaria-Tenerife, Naviera Armas**

Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia

La metodología para estimar el consumo de combustible con la información suministrada por la naviera parte de conocer el porcentaje de uso de los motores según actividad y saber durante cuántas horas al día el barco realiza las respectivas actividades. Una vez conocida esa información es necesario saber los consumos de los motores y aplicarlos a cada

actividad. La empresa proveyó una ficha en la que se detallan cuatro actividades y la manera en la que los motores trabajan por actividad, así como la duración de éstas. Los astilleros HJ Barreras, los cuales botaron el barco, proveyeron información técnica de los motores.

Los dos navíos que cubren dicha ruta son el “Volcán de Tijarafe” y el “Volcán de Tamadaba”, los cuales son buques gemelos botados en Vigo. Se consulta la información técnica de los navíos, los cuales tienen una eslora de 154,51 m, y manga de 24,20 m, con velocidad de servicio de 23 nudos. Ambos barcos cuentan con dos motores principales de 11.700 kW a 500 rpm y dos auxiliares (para maniobras en puerto y similares) de 1.200 kW a 1.000 rpm. La capacidad de carga de los barcos es de 1.000 personas, con 62 camarotes. Los barcos cuentan con dos cubiertas para carga y una para vehículos, pudiendo llevar 174 coches y 57 trailers, u 80 trailers (sin coches). Además disponen de tanques para líquidos.

La empresa indica que ambos barcos realizan la misma ruta durante todo el año, alternando los destinos. Es decir cuando un barco se encuentra en Gran Canaria, el otro está en Tenerife y viceversa. Por tanto el cálculo que se realice para un barco se extrapolará al otro, al ser barcos gemelos y realizar el mismo trayecto. En la Tabla 4, se detallan los horarios de salida y de llegada de un día (lunes en el ejemplo). El destino A o B es cualquiera de las dos ciudades capitalinas.

	Llegada	Salida
Ciudad A	D. 22:00	L. 07:30
Ciudad B	L. 10:00	L. 16:00
Ciudad A	L. 18:00	L. 19:45
Ciudad B	L. 22:15	M. 07:30

**Tabla 4 – Horarios de la línea Gran Canaria-Tenerife, Naviera Armas**

Fuente: Naviera Armas. Elaboración propia

La empresa además provee un cuadro en el que se detalla la duración de los estados operativos del barco (Tabla 5). Cada estado se explica a continuación.

- Navegación normal: cuando el barco se encuentra navegando en alta mar. Los motores auxiliares no se utilizan y los principales están a un 80-85%.
- Atracado: los motores principales no funcionan, pero los auxiliares lo hacen al 60% funcionando como generadores.
- Maniobras: el barco utiliza sus motores auxiliares para realizar operaciones como salir o entrar a puerto. Los motores principales se usan en un 20%, mientras que los auxiliares se utilizan en un 80-85%.
- En reposo: El barco se encuentra atracado en stand by, normalmente por la noche, cuando no realiza viajes, utilizando solamente un motor auxiliar al 60%.

Duración total estados por día		
Estado 1	Navegación	5:30
Estado 2	Atracado	4:30
Estado 3	Maniobra	3:30
Estado 4	Reposo	10:30

**Tabla 5 – Duración total de los estados operativos del buque**

Fuente: Naviera Armas. Elaboración propia

En la Tabla 6 se presenta la información necesaria de los motores, exponiendo el régimen de giro y los distintos consumos de éstos:

	Motor Principal Wärtsilä 12V46	Motor Auxiliar Wärtsilä 6L20
Régimen giro	500 rpm	1.000 rpm
Potencia	11.700 kW	1.200 kW
Consumo al 100%	175 g/kWh	191 g/kWh
Consumo al 85%	170 g/kWh	190 g/kWh
Consumo al 75%	170 g/kWh	190 g/kWh
Consumo al 50%	175 g/kWh	198 g/kWh

**Tabla 6 – Consumo de combustible de los motores**

Fuente: Astilleros HJ de Barreras. Elaboración propia

Obtenido el consumo según el trabajo de los motores y, conociendo los diversos trabajos que los motores realizan durante un día, se obtiene el consumo de éstos según los diversos estados, como se aprecia en la Tabla 7, en la que se define el consumo de cada tipo de motor según el estado operativo del buque:

	Motor Principal	Motor auxiliar
Potencia		
Estado 1 (kW)	9.945 (11.700 kW x 85%)	0 (1.200 kW x 0%)
Estado 2 (kW)	0 (11.700 kW x 0%)	720 (1.200 kW x 60%)
Estado 3 (kW)	2.340 (11.700 kW x 20%)	1.020 (1.200 kW x 85%)
Estado 4 (kW)	0 (11.700 kW x 0%)	720 (1.200 kW x 60%)
Consumo		
Estado 1 (gr)	9.298.575 (9.945 kW x 5,5 h x 170 g/kWh)	0 (0 kW x 5,5 h x 0g/kWh)
Estado 2 (gr)	0 (0 kW x 4,5 h x 0 g/kWh)	641.520 (720 kW x 4,5 h x 198 g/kWh)
Estado 3 (gr)	1.433.250 (2.340 kW x 3,5 h x 175 g/kWh)	678.300 (1.200 kW x 4,5 h x 190 g/kWh)
Estado 4 (gr)	0 (0 kW x 10,5 h x 0 g/kWh)	1.496.880 (720 kW x 10,5 h x 198 g/kWh)

**Tabla 7 – Cálculo consumo de combustible de los motores por estado operativo**

Fuente: Naviera Armas, Astilleros HJ Barreras. Elaboración propia

Conociendo los consumos de cada estado y el número de motores usados, se puede obtener el consumo diario de un barco, como se muestra en la Tabla 8, en la que a partir de los consumos de cada motor en cada estado se estima el consumo diario de combustible:

Consumo	Motor Principal (MP)	Motor Auxiliar (MA)	Número Motores	Total Consumo Diario
Estado 1 (gr)	9.298.575	0	2	18.597.150 (MP+MA) x 2
Estado 2 (gr)	0	641.520	2	1.283.040 (MP+MA) x 2
Estado 3 (gr)	1.433.250	678.300	2	4.223.100 (MP+MA) x 2
Estado 4 (gr)	0	1.496.880	1	1.496.880 (MP+MA) x 1
				25.600.170 Total Día (gr)
				25,6 Total Día (Ton)

**Tabla 8 – Cálculo del consumo diario de los motores de un barco**

Fuente: Naviera Armas, Astilleros HJ Barreras. Elaboración propia

La Tabla 9 presenta el cálculo del consumo de combustible en un año. Como ambos barcos son gemelos los datos se extrapolan a ambos buques.

	Consumo
Consumo Barco/Día (Ton)	25,60
Consumo Barco/Mes (Ton)	768,01 (30 días)
Consumo Barco/Año (Ton)	9.344,06 (365 días)
Consumo Ruta/Día (Ton)	51,20 (2 barcos)
Consumo Ruta/Mes (Ton)	1.536,01 (2 barcos x 30 días)
Consumo Ruta/Año (Ton)	18.688,12 (2 barcos x 365 días)

**Tabla 9 – Cálculo consumo combustible ruta Las Palmas de G.C.-Santa Cruz de Tf.**

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el cuadro, el consumo total estimado de la ruta es de 18.688,12 toneladas de Heavy Fuel Oil en un año, siendo el consumo de un barco de unas 26 toneladas al día.

### 3.2 Cálculo consumo de combustible Fred Olsen

En el caso de Fred Olsen, la compañía opera la ruta desde el puerto de Agaete, localizado en el noroeste de Gran Canaria. El puerto de destino es también el de Santa Cruz de Tenerife. La tabla 10 muestra los datos de pasajeros de la línea.

Año	Total Pasajeros
2011	626.980
2012	567.368
2013	773.509
2014	782.881

**Tabla 10 – Evolución de pasajeros línea Gran Canaria-Tenerife, Fred Olsen**

Fuente: Puertos Canarios. Elaboración propia

La ruta está operada por dos barcos; el Bentago Express y el Bencomo Express. Ambos barcos son del tipo “Fast Ferry Wavepiercing Catamarán” y se botaron en 1999. Pueden

transportar entre 850-900 pasajeros. Pese a que no son iguales, apenas hay diferencias de carga, pasajeros y medidas entre ambos, así que para el presente trabajo se tomarán ambos como gemelos. Sendos barcos tienen 95 metros de eslora, 26 metros de manga, capacidad de carga de 330 metros lineales, velocidad de servicio de 38 nudos y una potencia motriz de 38.516 CV.

En este caso, la metodología de cálculo difiere del método anterior, ya que para estimar el consumo de combustible en este caso hay tres estados, en lugar de cuatro, y no se calculan de igual manera. Las tres fases son:

- Navegación: cuando el barco está en alta mar viajando entre puntas, es decir entre Agaete y Gran Canaria (36 millas entre puntas)
- Maniobras: cuando el barco está entrando o saliendo de puerto. La duración de esta etapa es de 18 minutos de media y por viaje sumando los dos puertos. El barco navega a 7 nudos en esta etapa.
- Atraque: el barco se encuentra en puerto.

El consumo base de cada motor es de 200 gramos por kWh a 1000 rpm, que es cuando el barco se encuentra en navegación. La fase de maniobra se estima en un 5% del consumo en navegación, y la fase de atraque en un 2% del consumo de navegación más maniobra. La velocidad de operación es de 36 nudos, con lo que el barco realiza el trayecto entre puntas en una hora. Cada buque cuenta con cuatro motores, operándolos al 90% de la máxima potencia continua (6258 kW a 1000 rpm). El combustible que utiliza el navío es Gas Oil Marino (S<0,1%) o DMA. En la tabla 11 se expone el cálculo del consumo de la ruta.

Consumo Fred Olsen	
Duración navegación (h)	1
Motores (nº)	4
Potencia (kW)	6.528
Consumo motores (gr/kWh)	200
Consumo navegación (gr)	5.222.400 (1 h x 4 motores x 6,528 kW x 200 gr/kWh)
Consumo Maniobras (gr)	261.120 (Consumo Navegación x 5%)
Consumo/Viaje (gr)	5.483.520 (Consumo Navegación + Consumo Maniobras)
Número Viajes/Barco	6 (3 Viajes Ida + 3 Viajes de Vuelta)
Consumo Movimiento	32.901.120 (Consumo/Viaje x Número Viajes/Barco)
Consumo Atraque (gr)	658.022,4 (Consumo Movimiento x 2%)
Consumo Barco/Día (gr)	33.559.142,4 (Consumo Movimiento + Consumo Atraque)
Consumo Ruta/Día (gr)	67.118.284,8 (Consumo Barco/Día x 2 Barcos)
Consumo Ruta/Mes (gr)	2.013.548.544,0 (Consumo Ruta/Día x 30 Días)
Consumo Ruta/Año (gr)	24.498.173.952,0 (Consumo Ruta/Día x 365 Días)
Consumo Ruta/Año (Ton)	24.498,17

**Tabla 11: Cálculo del consumo de combustible en la ruta Agaete-Santa Cruz de Tf.**

Fuente: Fred Olsen. Elaboración propia



Los resultados muestran que en 2014 se consumieron unas 24500 toneladas de gas oil marino, unas 33,5 toneladas por barco al día, siendo la cantidad considerablemente superior a la de Naviera Armas

### 3.3 Aplicación factores de emisión: cálculo emisiones GEI

Una vez estimados los consumos de combustibles de las dos líneas, se procede a aplicar los factores de emisión expuestos anteriormente para así obtener las emisiones de GEI. En la tabla 12 se exponen los cálculos, aplicando a los factores de emisión el potencial de calentamiento global para así homogenizar los resultados.

Factores	CO2 (kg/t)	CH4 (kg/t)	N2O (kg/t)
La Luz-Santa Cruz (Heavy Fuel Oil en t)	3.085	0,175	0,08
18.688,12	57.652.850,20	3.270,42	1.495,05
Agaete-Santa Cruz (Gas Oil Marino en t)	3.138	0,095	0,08
24.498,17	76.875.257,46	2.327,33	1.959,85
Potencial Calentamiento	1	21	310
Emisiones			
Naviera Armas (kg)	57.652.850,20	68.678,84	463.465,38
Emisiones			
Fred Olsen (kg)	76.875.257,46	48.873,85	607.554,62
Resultados en CO2- equivalente	Año	Día	Barco
Naviera Armas (kg)	58.184.994,42	159.410,94	79.705,47
Fred Olsen (kg)	77.531.685,93	212.415,58	106.207,79
TOTAL RUTA (kg)	135.716.680,34	371.826,52	
TOTAL RUTA (t)	135.716,68	371,83	

**Tabla 12: Aplicación factores de emisiones: estimación emisiones GEI**

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar se aplican los factores de emisión, obteniendo el resultado en kilogramos. Así por ejemplo en la ruta La Luz-Santa Cruz se emitieron 3.270,42 kg de Metano (CH<sub>4</sub>), según la estimación. Tras obtener las cantidades de cada gas, se aplica el potencial de calentamiento global, obteniendo que la cantidad anterior de metano equivale a 68.678,84 kg de CO<sub>2</sub>. Posteriormente se suman las cantidades obtenidas de CO<sub>2-eq</sub> para así obtener el total, estimando por ejemplo que Naviera Armas emite unas 58.185 toneladas de CO<sub>2-eq</sub> en un año. El total muestra lo que ambas compañías juntas emiten, estando desglosados los resultados por año (suma de ambas compañías) y día (cantidad anterior dividido entre 365). Se muestra que la línea Gran Canaria-Tenerife genera unas 135.716 toneladas de CO<sub>2-eq</sub>.



### 3.4 Resultados

Como se menciona en el apartado anterior, el análisis muestra que el total de CO<sub>2</sub>-eq emitido en 2014 sería de 135.716 toneladas. Naviera Armas emite unas 58.185 toneladas, lo que equivale a un 43% del total, siendo 77.532 toneladas lo que genera Fred Olsen (57%). En la Tabla 13 se resumen los resultados de la investigación. Se aprecia como si bien Fred Olsen emite más cantidad de GEI, sus cifras de pasajeros son considerablemente mayores, siendo el ratio emisiones/pasajero menor en dicha compañía. Sin embargo, Naviera Armas tiene una tasa de ocupación menor en sus barcos, es decir, se utilizan menos eficientemente, lo cual influye en los resultados. La capacidad de los barcos de Naviera Armas es mayor, con lo que el problema radica en la eficiencia con la que dicha línea se usa.

Línea	Empresa	Tipo Combustible	Consumo (t)	Emisiones CO <sub>2</sub> -eq (t)	Pasajeros 2014
La Luz-Santa Cruz	Naviera Armas	Heavy Fuel Oil	18.688,12	58.184,99	387.236
Agaete-Santa Cruz	Fred Olsen	Gas Oil Marino	24.498,17	77.531,69	782.881

**Tabla 13: Resumen resultados**

Fuente: Elaboración propia

### 4. CONCLUSIÓN

El análisis estimador se realiza con un método “Full bottom-up”, ya que se dispone de información específica de cada buque. Ya que se obtiene el consumo de combustible de la línea, siendo de 18.688 toneladas de heavy fuel oil para Armas, y de 24.498 de gas oil marino para Fred Olsen, se aplican factores de emisión de los tres principales GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) para dichos combustibles, como se explica en el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España.

Las emisiones de ambas compañías suman 135.716 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, siendo un 43% de dichas emisiones de Naviera Armas, y un 57% de Fred Olsen. Si bien es necesaria la presencia de dicha ruta, debido a la fragmentación geográfica del archipiélago, existen indicios de ineficiencia de uso en la ruta, como muestran la diferencias de cantidades de pasajeros de ambas compañías, ya que Fred Olsen mueve casi el doble de personas que Armas, a pesar de que los barcos de Naviera Armas disponen de más capacidad y realizan más viajes.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a todas las personas que han ayudado a la elaboración de esta investigación.

A Gustavo Santana Hernández y Naviera Armas, por su inestimable ayuda para el desarrollo de este proyecto, y por invitarnos a la sede de la empresa para atendernos personalmente.

A la compañía Fred Olsen, por colaborar entregando información importantísima para la elaboración de este trabajo.

A los miembros de Puertos Canarios que amablemente nos ayudaron.

Y en general a todas las personas que han colaborado para que la realización de este proyecto fuera posible.

## **REFERENCIAS**

GOBIERNO DE CANARIAS (2007): Boletín Oficial de Canarias Nº 888. Jueves 3 de Mayo de 2007 – 669

HERNÁNDEZ, J.A. (2010). El Transporte Aéreo Interinsular Como Factor de Cohesión Territorial en las Islas Canarias. *Revista Transporte y Territorio Nº 2. Universidad de Buenos Aires, 2010.* pp. 38-67.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2011). Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España, Años 1990-2009.

MIOLA, A./CIUFFO, B. (2011): Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modeling approaches and available data sources, in: *Atmospheric Environment*, Vol. 45, p. 2242-2251.

NACIONES UNIDAS (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático.