

Grupo de Trabajo 12
“IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SECTOR MARÍTIMO:
Emisiones atmosféricas”

DOCUMENTO FINAL

PARTICIPANTES

Relatores

Rafael Gutiérrez Fraile
Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos

Elena Seco García-Valdecasas
Asociación Navieros Españoles

José Antonio Zarzosa Ceballos
Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos.

Colaboradores Técnicos

Primitivo González López
Universidad de A Coruña

Antonio Salamanca Giménez
Universidad de A Coruña

Carlos Álvarez Cánovas
Ingeniería y Desarrollo

Coordinador

Jesús Casas Rodríguez
Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos

ÍNDICE

Capítulo 1.	Introducción.....	6
Capítulo 2.	Emisiones de CO ₂	10
2.1	Situación actual.....	10
2.1.1	Naturaleza y peligros del dióxido y el monóxido de carbono	10
2.1.2	Efecto Invernadero y el Cambio Climático.....	10
2.1.3	Emisiones de dióxido y monóxido de carbono desde buques	11
2.2	Normativa aplicable	11
2.2.1	El Protocolo de Kyoto (1997).....	11
2.2.2	La Unión Europea.....	12
2.2.3	El transporte marítimo.....	12
2.3	Situación técnica del problema	12
2.3.1	General	12
2.3.2	Soluciones técnicas actuales adaptadas al transporte marítimo.....	13
2.3.2.1	Buques.....	14
2.3.2.2	Máquinas propulsoras.....	15
2.3.2.3	Energía Nuclear	16
2.3.2.4	Viento.....	17
2.3.2.5	Nuevas tecnologías y energías renovables.	17
2.4	Impacto económico.....	19
2.5	Resumen y perspectivas.....	19
Capítulo 3.	Emisiones de SO ₂ y otros óxidos de azufre.	20
3.1	Situación actual.....	20
3.2	Normativa vigente.	20
3.2.1	Normativa Internacional.	21
3.2.2	Normativa Europea vigente.	21
3.3	Situación Técnica.....	23
3.3.1	Disponibilidad de combustibles de bajo contenido de azufre	23
3.3.2	Análisis de posibles alternativas.	24
3.3.2.1	Seawater Scrubbing.....	24

Capítulo 6.	Emision de halones y de compuestos clorofluorcarbonados (CFCs).....	49
6.1	Situación actual.....	49
6.1.1	CFCs y halones: introducción, conceptos básicos.....	49
6.1.2	Empleo de halones y CFCs en los buques. Estimación de las emisiones.....	50
6.1.3	Los halones y CFCs y el problema del agotamiento de la capa de ozono.	51
6.2	Normativa.....	56
6.2.1	Convenios internacionales.....	56
6.2.2	Legislación Europea.	56
6.2.3	Efectos de los acuerdos internacionales.	57
6.2.4	Normativa marítima internacional. El Anexo VI del MARPOL.. ..	58
6.3	Situación técnica. Nuevos productos.....	59
Capítulo 7.	Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.....	60
7.1	Situación actual.....	60
7.1.1	Los Compuestos Orgánicos Volátiles y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud	61
7.1.2	Los Compuestos Orgánicos Volátiles de las cargas transportadas por el mar.....	64
7.1.2.1	Las cargas incluidas en el Código de Productos Químicos.....	64
7.1.2.2	Los crudos y productos de petróleo.....	64
7.1.2.3	Los gases licuados que se transportan con relicuefacción.....	67
7.1.2.4	Los gases licuados que se transportan permitiendo un grado limitado de vaporización.	67
7.1.3	Emisiones de compuestos orgánicos volátiles en astilleros.....	68
7.2	Convenios y Normativa Internacional.	70
7.2.1	MARPOL.....	70
7.2.2	La Unión Europea.....	70
7.2.3	Otras normativas.....	72
7.2.4	Influencias de los Acuerdos.	72
7.3	Conclusión.	73

Capítulo 1. Introducción

El Grupo de Trabajo 12 del VIII Congreso Nacional de Medioambiente ha preparado el documento “Impacto medioambiental del Sector Marítimo: emisiones atmosféricas”, consciente de que una de las claves del futuro del sector marítimo en general será el fomento del respeto al medio ambiente y la contribución a que el conjunto de la sociedad pueda desenvolverse en un marco sostenible a largo plazo, es decir uno en el que la influencia humana sobre el entorno natural no sature la capacidad de renovación del medio ambiente.

Dentro del concepto de industrias marítimas o sector marítimo en general se incluyen:

- El transporte marítimo, tanto de carga como de pasajeros.
- Las industrias de servicios marítimos; remolques, tendido de cables y tuberías marinas, construcciones mar adentro, apoyo a plataformas e industrias mar adentro, investigación oceánica, dragado, lucha contra la contaminación, salvamento y rescate, entre otras.
- La pesca marítima.
- La acuicultura marítima.
- La extracción de recursos naturales de los fondos marinos; petróleo, gas y minerales.
- La generación de energías renovables en el mar aprovechando mareas, corrientes, viento y diferencias térmicas en el agua.
- La náutica deportiva y de recreo.
- La marina militar.
- La administración marítima; documentación, supervisión, certificación, inspección, formación profesional, vigilancia costera, ayudas a la navegación y control de tráfico, entre otras.
- La interfaz con la economía e industrias terrestres; puertos, telecomunicaciones y otros.
- Las industrias de apoyo a las anteriores; construcción naval, reparaciones navales, fabricación de equipos y otras industrias auxiliares.

En general, las actividades citadas incluyen no solamente las que se realizan en el mar, sino también aquellas que se realizan en las vías navegables que dan al mar, e incluso en aguas interiores de tamaño suficiente, aunque no estén conectadas con el mar.

Cada uno de estos sub-sectores tiene unas características propias y en muchos casos su relación con el desarrollo sostenible presenta dos caras; una positiva en la medida en que aprovecha eficazmente los recursos naturales y ayuda al conjunto de la sociedad a alcanzar un desarrollo sostenible, y otra negativa en la medida en que se impacta sobre el medio ambiente en forma de consumo de recursos naturales, vertidos, emisiones o derrames accidentales.

Ante un panorama tan amplio, el Grupo de Trabajo se ha propuesto en este documento dar una panorámica de la situación actual en relación con el objetivo del desarrollo sostenible en dos de los principales sub-sectores, el transporte marítimo y los astilleros.

Según un reciente estudio sobre sociedades del pasado que colapsaron por haber destruido el medio natural en que se desarrollaban, los principales problemas medioambientales a los que nos enfrentamos hoy son:

1. Destrucción acelerada del hábitat natural; bosques, humedales, arrecifes coralinos y fondos oceánicos.
2. Agotamiento de las fuentes naturales de proteínas animales (caza y pesca) y su sustitución por fuentes gestionadas por el hombre (ganadería y acuicultura).
3. Desaparición de especies animales y vegetales con la resultante pérdida de biodiversidad.
4. Pérdida de los suelos útiles para la agricultura, por erosión acelerada, salinización, agotamiento de sustancias nutrientes, acidificación o basificación.
5. Agotamiento de las fuentes de energía fósil.
6. Agotamiento de las reservas de agua dulce.
7. Aproximación a los límites de capacidad fotosintética de la biomasa en función de la energía solar recibida por la Tierra.
8. Contaminación por productos químicos hechos por el hombre y sus residuos.
9. Invasiones y destrucción del hábitat natural por especies foráneas llevadas por el hombre.
10. Emisiones de gases a la atmósfera resultantes de la actividad humana.
11. Crecimiento de la población mundial con consecuente aumento del ritmo de uso de recursos naturales.
12. Mejora del nivel de vida de la población mundial con consecuente aumento del ritmo de uso global de recursos naturales.

Antes de seguir adelante, es preciso aclarar que el último punto es un “problema” sólo en la medida en que cuantitativamente dificulta alcanzar un equilibrio con el medio ambiente en los primeros diez puntos. Es evidente que el objetivo del desarrollo sostenible a nivel mundial implica que todos los habitantes del planeta disfruten de un nivel de vida similar y sería inmoral proponer que el equilibrio medioambiental se alcance a costa de que una parte de la humanidad se mantenga en un nivel de vida inferior que el resto. Por tanto, no se considerará una amenaza al medio ambiente en el contexto del trabajo que estamos realizando.

En cuanto a los restantes puntos, el sector marítimo tiene poca o ninguna relación con los puntos tercero, cuarto, séptimo y decimoprimeros. Quedan por tanto como objetivos a estudiar su relación con las siguientes amenazas medioambientales:

- a) Destrucción acelerada de arrecifes coralinos y fondos oceánicos.

- b) Agotamiento de las fuentes naturales de pesca y su sustitución por la acuicultura.
- c) Agotamiento de las fuentes de energía fósil.
- d) Agotamiento de las reservas de agua dulce.
- e) Contaminación por productos químicos hechos por el hombre y sus residuos.
- f) Invasiones y destrucción del hábitat natural por especies foráneas llevadas por el hombre.
- g) Emisiones de gases a la atmósfera resultantes de la actividad humana.

El Grupo de Trabajo 12 ha elegido el último punto; emisiones a la atmósfera, por una cuestión de pura oportunidad: En mayo de 2005 ha entrado en vigor el primer paquete de normativa internacional específicamente relativa a las emisiones atmosféricas desde buques. Se trata del Anexo VI del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación del Mar desde Buques (MARPOL) que está bajo los auspicios de la Organización Marítima Internacional (OMI), la agencia especializada de las Naciones Unidas para la Seguridad Marítima y la Protección del Medio Marino. También en 2005 se aprobó una Directiva Comunitaria sobre emisiones de azufre desde buques. Por tanto, para el mundo marítimo, 2005 ha sido el año de las emisiones atmosféricas.

El tema de las emisiones a la atmósfera tiene además la ventaja de afectar a muchos de los sub-sectores marítimos arriba mencionados; todos aquellos que usan buques, ya sea para transporte, servicios marítimos, pesca, náutica deportiva y de recreo, administración marítima, así como a las industrias de soporte en general.

Solamente se excluye la parte militar que tradicionalmente no está sujeta a los dictados de los convenios de la OMI. Tampoco se ha abarcado en este estudio inicial a las industrias que se realizan en posición fija al fondo del mar; acuicultura, extracción de petróleo, gas y minerales, generación de energías renovables en el mar y actividades portuarias. La razón es que estas actividades suelen estar reguladas por normativas terrestres del país ribereño, no marítimas.

Los buques no son intrínsecamente unos grandes emisores de gases a la atmósfera, pero en el contexto actual se han visto finalmente afectados por la normativa internacional para reducir o eliminar determinados tipos de emisiones.

La calidad del aire ha mejorado notablemente en la Unión Europea, desde aquellos tiempos en los que las ciudades de sus países más industrializados eran cubiertas por un "smog" insalubre, en la creencia generalizada de que era el peaje que había que pagar por el progreso y la industrialización.

Esta mejora se ha conseguido especialmente gracias a la promulgación de normativas, europea e internacional, que contemplaban aspectos tan importantes, entre otros, como la limitación de emisiones en grandes instalaciones de combustión y en el transporte, y sobre la calidad de los combustibles a utilizar.

Pero aunque la calidad haya mejorado, los problemas no han desaparecido y, hay evidencias de que algunos se han agravado, como el ozono troposférico, la eutrofización, y el cambio climático, al mismo tiempo que se obtienen datos sobre una mayor toxicidad de las partículas en suspensión. Por lo tanto, no queda más remedio que proseguir en el camino de la mejora de la atmósfera que nos rodea.

Por lo que afecta al sector naval, ya que la mayor reducción de emisiones contaminantes se ha conseguido en tierra firme, la UE considera que el transporte marítimo es uno de los sectores en los que se podrán conseguir importantes progresos, teniendo en cuenta que, por su manifiesta sostenibilidad, había quedado hasta ahora al margen de la mayoría de la legislación europea sobre esta materia.

En este documento que representa el resultado del trabajo realizado por los integrantes del Grupo de Trabajo 12 se ha intentado reflejar la situación actual de los buques en relación con los principales contaminantes atmosféricos, gases de efecto invernadero y sustancias que agotan la capa de ozono, y de las repercusiones técnicas y económicas que, para el sector marítimo, tiene la aplicación de la normativa medioambiental sobre calidad del aire.

Las emisiones relevantes a los efectos de este estudio son las siguientes:

- A. Monóxido y bióxido de carbono.
- B. Óxidos de azufre.
- C. Óxidos de nitrógeno.
- D. Partículas sólidas en suspensión en el aire.
- E. Halones y compuestos fluorocarbonados.
- F. Compuestos orgánicos volátiles.

Para cada una de estas emisiones se ha tratado de seguir un mismo programa que consta de los siguientes aspectos:

- i. Naturaleza del peligro, origen y causas de las emisiones, cuantificación de las emisiones desde buques.
- ii. Normativa aplicable a buques a nivel internacional, europeo y nacional.
- iii. Tecnologías disponibles para reducir o eliminar las emisiones desde buques.
- iv. Impacto económico de la reducción o eliminación de las emisiones desde buques.
- v. Perspectivas de futuro; nuevas tecnologías de previsible desarrollo a medio y largo plazo, nuevas reglamentaciones en fase de desarrollo.

En este estudio no se ha pretendido hacer un análisis a fondo de cada uno de los temas, sino presentar una visión general y dinámica que permita su fácil lectura para despertar el interés de unos, informar suficientemente a otros y que quienes tengan mayor necesidad o curiosidad de conocerlos por ellos mismos puedan iniciar su exploración con una visión de conjunto lo más ordenada posible. Los miembros del Grupo de Trabajo esperamos haber cubierto estos objetivos.

Capítulo 2. Emisiones de CO₂

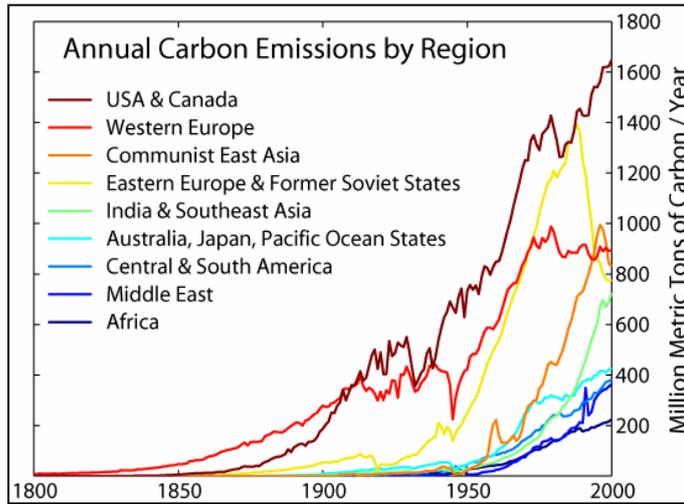
2.1 Situación actual

2.1.1 Naturaleza y peligros del dióxido y el monóxido de carbono

Los óxidos de carbono en la atmósfera son dos: el dióxido de carbono (CO₂) y el monóxido de carbono (CO).

Los dos son contaminantes primarios, contribuyen poderosamente al llamado "efecto invernadero" y su concentración está aumentando en los últimos decenios por la quema de combustibles fósiles y de grandes extensiones de bosques.

Dado que se producen siempre en asociación, en adelante se considerarán ambos gases juntos, aunque solamente se mencione el primero.



Fuente: Wikipedia – autorización de uso GFDL

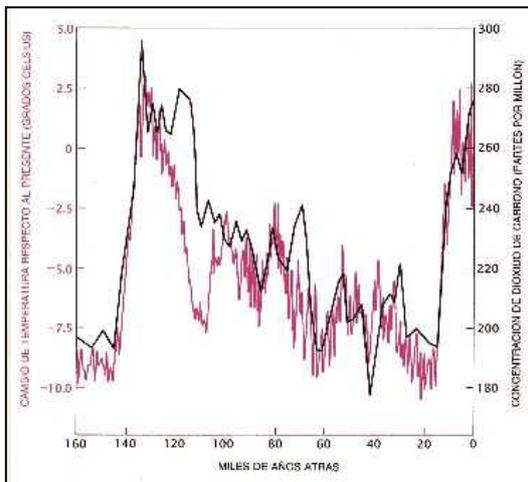
2.1.2 Efecto Invernadero y el Cambio Climático

Los estudios más recientes indican que en los últimos años se está produciendo, de hecho, un aumento de la temperatura media de la Tierra de algunas décimas de grado. Dada la enorme complejidad de los factores que afectan al clima es muy difícil saber si este ascenso de temperatura entra dentro de la variabilidad natural (debida a factores naturales) o si es debida al aumento del efecto invernadero provocado por la actividad humana.

Las evidencias científicas no son totalmente claras, pero en 1995 el principal organismo internacional que se encarga de coordinar todos los estudios sobre este tema, el Panel Intergubernamental para el cambio Climático de las Naciones Unidas (UN-IPCC) escribía en uno de sus Informes: "el conjunto de evidencias sugiere un cierto grado de influencia humana sobre el clima global" (*"the balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate"*).

Gases con efecto invernadero		
	Acción relativa	Contribución real
CO ₂	1 (referencia)	76%
CFCs	15.000	5%
CH ₄	25	13%
N ₂ O	230	6%

Como se indica en la columna de acción relativa, un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15.000 veces mayor que un gramo de CO₂, pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la columna de la derecha. Otros gases como el oxígeno y el nitró-



Fuente: www1.ceit.es/asignaturas/ecologia

geno, aunque se encuentran en proporciones mucho mayores, no son capaces de generar efecto invernadero.

La concentración media de dióxido de carbono se ha incrementado desde unas 275 ppm antes de la revolución industrial, a 315 ppm cuando se empezaron a usar las primeras estaciones de medida exactas en 1958, hasta 361 ppm en 1996.

En la gráfica se recoge la evolución de la concentración de CO₂ y de las temperaturas en los últimos 160.000 años, según datos obtenidos de testigos de hielo de Groenlandia.

Desde 1886, año en que se comienzan a tener mediciones fiables, se observa que la temperatura ha subido alrededor de 0,5°C.

2.1.3 Emisiones de dióxido y monóxido de carbono desde buques

La actividad humana genera CO₂ y CO en grandes cantidades siendo los contaminantes emitidos en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales.

El CO₂ se produce en todos los procesos de combustión. Por tanto, se produce en grandes cantidades en todos los sistemas de transporte, incluido el marítimo. Las emisiones de CO₂ desde buques son directamente proporcionales al consumo de combustible para todos los usos; propulsión, auxiliares, calefacción y otros.

Las emisiones de CO₂ de origen humano se aceleran y se hacen significativas a lo largo del siglo XX. Las principales emisiones proceden de los países desarrollados

El CO procede principalmente de la combustión incompleta de la gasolina y el gasoil en los motores de los vehículos, pero no es un contaminante preocupante en el transporte marítimo, porque se produce en cantidades relativamente pequeñas y siempre en espacios abiertos.

2.2 Normativa aplicable

2.2.1 El Protocolo de Kyoto (1997)

Ante la evidencia cada vez más aceptada de la influencia humana en el cambio climático, el Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas promovió el Convenio-Marco el Cambio Climático⁽ⁱ⁾ en 1992, entrando en vigor en 1994.

Posteriormente se adoptó el Protocolo de Kyoto que actualiza y amplía dicho tratado. El Protocolo de Kyoto se firmó en 1997 y ha entrado en vigor en 2005. De todos los países industrializados, solamente EE.UU. y Australia faltan por ratificarlo, aunque ambos firmaron en su día el tratado.

2.2.2 La Unión Europea

No parece probable que la UE cumpla el objetivo original del CMCC, fijado en 1992, de estabilizar las emisiones de dióxido de carbono (principal responsable del efecto invernadero) en los niveles de 1990 para el año 2000, ya que la previsión actual es que las emisiones aumenten un 5 por ciento respecto a los niveles de 1990 en el primer año del siglo que viene.

Además, en marcado contraste con el objetivo de Kyoto de alcanzar una reducción del 8 por ciento en las emisiones de los gases responsables del efecto invernadero para el año 2010, (para un "conjunto" de seis gases en el que se incluye el dióxido de carbono), en el último escenario de "situación sin cambios" realizado por la Comisión Europea, se sugiere un aumento del 8 por ciento en las emisiones de dióxido de carbono en la UE entre 1990 y 2010, procediendo la mayor aportación (39%) del sector del transporte.

No se ha adoptado todavía la propuesta de una de las medidas clave a escala comunitaria: un impuesto sobre la energía y el carbón, pero ya se ha introducido este impuesto en algunos países de Europa occidental (Austria, Dinamarca, Finlandia, Países Bajos, Noruega y Suecia).

Hay también otras posibles medidas para reducir las emisiones de CO₂ que ya se están aplicando en diversos países europeos y en la Unión Europea.

Entre estas medidas se incluyen los programas de eficiencia energética, las instalaciones combinadas de calefacción y electricidad, el cambio de combustibles del carbón al gas natural y/o la madera, las medidas encaminadas a modificar la división de modalidades en el transporte – potenciando el transporte marítimo o fluvial y el ferrocarril por su menor consumo energético – y a la absorción de carbono mediante la reforestación (ampliación del sumidero de dióxido de carbono).

2.2.3 El transporte marítimo

El Protocolo de Kyoto apenas hace una mención al transporte marítimo, que queda excluido de los objetivos generales de reducción de emisiones. Se dice únicamente:

Las Partes incluidas en el Anexo I procurarán limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal generadas por los combustibles del transporte aéreo y marítimo internacional trabajando por conducto de la Organización de Aviación Civil Internacional y la Organización Marítima Internacional, respectivamente.

No hay por tanto cuotas obligatorias de reducción de emisiones para el transporte marítimo, pero la OMI deberá desarrollar normas al respecto a medio plazo.

2.3 Situación técnica del problema

2.3.1 General

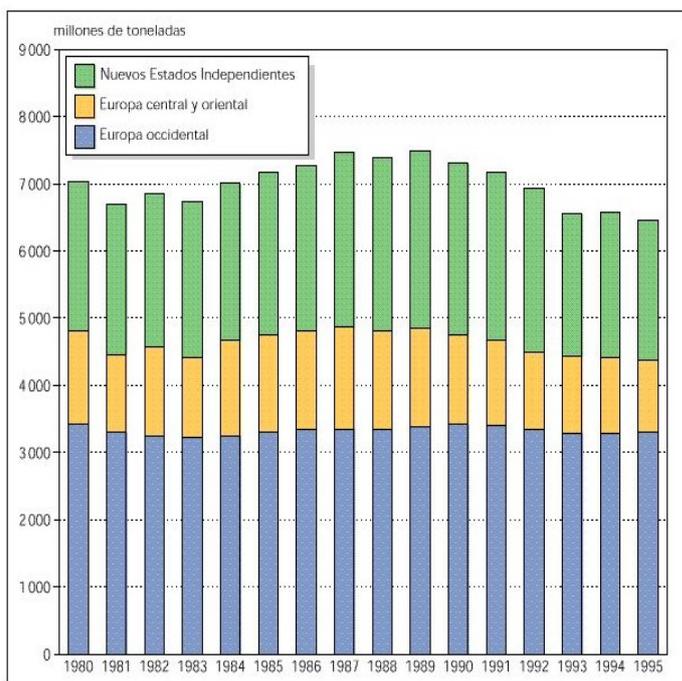
El IPCC estimaba en 1995 que para el año 2100 la temperatura media de la Tierra aumentará 2°C y el nivel del mar subirá 0,5m. El fenómeno no sería reversible en varias generaciones, por lo que sería necesario tomar medidas desde ahora para reducir las emisiones de CO₂.

El uso de energía, dominado por los combustibles fósiles, es el factor clave de las emisiones de dióxido de carbono.

Desde las crisis del petróleo de la década de los setenta hasta años recientes, los precios de la energía se han mantenido relativamente bajos y esto no ha propiciado el estímulo suficiente para mejorar la eficiencia.

La intensidad energética (consumo final de energía por unidad de PIB) ha disminuido sólo un 1 por ciento desde 1980.

En Europa entre 1980 y 1995, se registró un cambio sustancial de las pautas vigentes en el uso de la energía.



Emisiones de CO₂ en Europa durante el período de 1980 a 1995
Fuente: AEMA-ETC/AE

En el sector del transporte, creció un 40 por ciento; en el sector industrial, el uso de energía descendió en un 8 por ciento y el de otros combustibles aumentó en un 7 por ciento, lo que refleja principalmente el incremento del transporte por carretera y un alejamiento del uso intensivo de energía por parte de la industria.

Entre 1985 y 1995, se registró un aumento del 10 por ciento en el consumo total de energía.

La aportación de la energía nuclear al suministro total de energía pasó del 5 al 15% en Europa occidental entre 1980 y 1994; Suecia y Francia dependen de la energía nuclear para cubrir cerca de un 40 por ciento de sus necesidades totales de energía.

2.3.2 Soluciones técnicas actuales adaptadas al transporte marítimo

La principal forma de reducir las emisiones de CO₂ en el transporte marítimo es reducir el consumo de combustibles, es decir mejorar el rendimiento energético de los buques.

Como este objetivo es también favorable económicamente, hay una dinámica positiva desde las crisis del petróleo de los años setenta, aunque el impulso se había ido debilitando con el paso de los años. Las recientes subidas del petróleo hacen previsible un relanzamiento de las investigaciones y la adopción de medidas de ahorro energético a bordo de buques en el próximo futuro.

Las mejoras tecnológicas han permitido pasar de una situación en 1975 en que un petrolero tipo VLCC con 240.000 toneladas de carga consumía 180 toneladas de combustible por día a 14 nudos de velocidad. Hoy, un buque similar, con 300.000 tonela-

das de carga y a la misma velocidad consume apenas 90 toneladas por día de combustible.

Esto se ha conseguido con medidas de dos tipos:

- Mejoras en el diseño de buques
- Mejoras en el diseño de motores

2.3.2.1 Buques.

Entre las principales mejoras en el diseño de buques están los nuevos métodos de **diseño estructural** (FEM y otros) que han permitido desarrollar buques mucho más ligeros que sus precedentes. Por ejemplo, un buque de cruceros actual pesa poco más de la mitad de uno de similar tamaño construido hace cincuenta años. En consecuencia, se necesita mucho menos potencia y consumo de combustible para moverlo a similar velocidad.

A ello han contribuido además las mejoras en el **diseño hidrodinámico** del casco (CFD y otros), de las hélices (teoría de circulación, CFD, FEM y otros) que han dado como consecuencia carenas con menor resistencia al avance en el agua, por ejemplo; mejores bulbos de proa, formas de popa sin desprendimiento, hélices con rendimiento superior, apéndices (aletas, semi-toberas, toberas) que mejoran el flujo en popa, mejor comportamiento en la mar, optimización de rutas según predicciones meteorológicas también muy mejoradas, el empleo de pinturas autopulimentantes y/o con biocidas avanzados para reducir la rugosidad del casco.

La introducción reciente en algunos tipos de buques de barquillas (pods) con motores eléctricos y hélices externas al casco en lugar de las hélices convencionales y la utilización de hélices de diseños especiales (CLT, CPP, CRP, Grimm, etc.) permite un escalón más (hasta 10-15%) de reducción de la potencia a velocidad constante que podría irse extendiendo a todos los tipos de buques en el futuro.

2.3.2.2 Máquinas propulsoras.

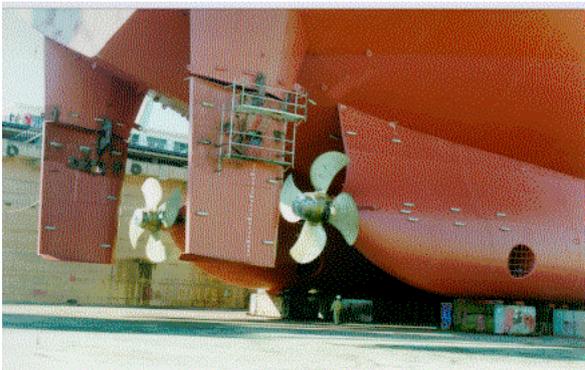
En cuanto a las máquinas térmicas que se utilizan para propulsión, la subida de precios del petróleo de los años setenta propició el rápido abandono de las turbinas de vapor en los buques. La turbinas eran máquinas robustas y muy apropiadas en buques petroleros o de pasaje, que necesitaban vapor para otros usos, pero su rendimiento térmico es bajo y por tanto su consumo de combustible muy alto. A partir de 1980 no se ha construido ningún buque propulsado con turbina de vapor, con excepción de un centenar de gaseros (LNG) que por motivos especiales han mantenido el vapor hasta



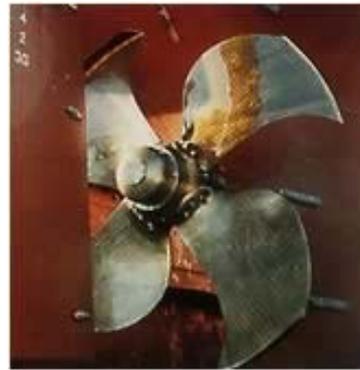
Optimización de formas del casco
Foto: Izar con autorización



Propulsión por barquillas (pods)
Foto: Wikipedia – dominio público



Formas de popa avanzadas
Foto: Izar con autorización



Hélice CLT
Foto: Sistemar con autorización

nuestros días.

Los **motores diesel** propulsan hoy el 99,8% de la flota mundial (en nº de buques). Los motores han pasado de tener consumos típicos del orden de 175-180 gr/CV-h en 1975 hasta 120 gr/CV-h o menos en 1995. Esta última cifra supone un rendimiento térmico del 52-54% que es probablemente el mejor que se obtenga hoy con máquinas o instalaciones térmicas, con la excepción de las celdas de combustible.



Motor moderno de 2T
Foto: Izar con autorización

La mejora se consiguió cambiando el diseño de los motores y adoptando carreras más largas, que hoy llegan hasta 3,75 veces el diámetro del pistón en algunos motores de 2T. Se abandonó el barrido en lazo (usado por Sulzer, MAN y Mitsubishi) por ser incompatible con los cilindros tan alargados, adoptando todos los fabricantes el barrido uniflujo (usado antes solo por Burmeister & Wain). Además, se incrementó fuertemente

la presión media gracias a diseños avanzados de turbocompresores de aire de barrido movidos por los gases de escape. A esto contribuyó también una elevación de las presiones de inyección y una mejora de los propios inyectores. Todo ello unido a mejores materiales para resistir las cargas adicionales, mejor diseño estructural, mecánico y de la cámara de combustión (ambos con métodos FEM) y otros factores de menor importancia.

El resultado final es impresionante; una reducción del 33% en el consumo de combustible y en las emisiones de CO₂.

2.3.2.3 Energía Nuclear.

En los años cincuenta parecía que la propulsión nuclear era el futuro para los buques, incluso mercantes. Entre 1959 y 1993 la U.R.S.S. construyó una flota de grandes buques rompehielos con propulsión nuclear para mantener abierto el Paso Noreste del Atlántico al Pacífico. En los años sesenta se construyeron los cargueros experimenta-



Mercante nuclear "Savannah"
Foto: Wikipedia – dominio público



Inignia anti-nuclear

les “Savannah” en EE.UU. y “Otto Hann” en Alemania, ambos con propulsión por reactores nucleares y turbinas. De ellos, solo sobreviven algunos de los rompehielos.

Para los buques mercantes la propulsión nuclear resultó un estrepitoso fracaso, por motivos técnicos y políticos. En primer lugar, su coste de operación nunca se aproximó a niveles rentables, en segundo lugar, su presencia fue rechazada en la mayoría de los puertos extranjeros.

Por tanto, el desarrollo de la propulsión nuclear para buques mercantes se abandonó hace 40 años y no parece probable su retorno en las próximas décadas.

2.3.2.4 Viento.

La vela ha sido un método de propulsar buques que ha sido utilizado eficazmente durante cuatro milenios y por ello su reemplazo por las máquinas térmicas tardó más de 100 años en completarse.

Ante las subidas del petróleo en los años '70, hubo intentos de retomar la navegación a vela y se llegaron a instalar velas auxiliares experimentales en dos buques de carga japoneses en la segunda mitad de dicha década; el petrolero costero de “Shin Aitoku Maru” y el granelero de 35.000 tpm “Usuki Pioneer”. En ambos casos se observó un efecto muy positivo sobre el consumo. El petrolero realizó los experimentos más detallados y confirmó un consumo medio anual inferior en un 10-15% al que tenía antes de añadirle las velas.



Petrolero costero “Shin Aitoku Maru”
Foto de archivo: origen desconocido



Granelero de 35.000 tpm “Usuki Pioneer”
Foto de archivo: origen desconocido

Sin embargo, la bajada de los precios del petróleo en los años '80 hizo abandonar estos experimentos y se retiraron las velas de ambos buques. El granelero fue desgastado hace años y el petrolero languidece su senectud como buque fluvial en China.

2.3.2.5 Nuevas tecnologías y energías renovables.

No hay a corto plazo alternativas tecnológicas eficaces para las máquinas térmicas que propulsan los buques y les proporcionan energía para usos auxiliares.

En cambio, la mejora incremental de las tecnologías actuales, impulsada por los altos precios actuales del petróleo, pueden aún dar como resultado importantes reducciones adicionales de consumo de combustible.

Por ejemplo, en los motores diesel mediante la inyección a mayor presión, con perfil variable y control electrónico, todo ello combinado en el sistema llamado “rail común”

que es ya corriente en automoción pero apenas se ha empezado a experimentar en buques.

En un sentido más radical, que por lo tanto solo puede dar resultados a largo plazo, estaría el aprovechamiento de energías renovables, es decir la energía solar y el viento.

En relación con la energía solar, al margen de que su coste inicial es aún excesivo, se requieren instalaciones (paneles fotovoltaicos o térmicos) cuyo tamaño físico las hace incompatibles con el limitado espacio disponible en un buque. Por tanto no es previsible su uso intensivo a bordo, salvo para aplicaciones especiales de baja demanda energética.



Buque experimental "Hydrogen Challenger"

Fotos: www.hydrogen-challenger.de con autorización.



En cuanto al viento, en el buque experimental alemán "Hydrogen Challenger" se ha instalado un aerogenerador omnidireccional de eje vertical unido a un alternador. La corriente generada se usa para producir hidrógeno que se almacena para usarlo luego en celdas de combustible para producir electricidad para usos auxiliares. Al no depender de la dirección del viento, y al poder generar y almacenar energía, se espera generar más energía de la que se podría obtener con velas propulsoras similares a las que en los años '80 experimentaron los japoneses. Sin embargo, no parece probable que se pueda obtener suficiente electricidad para suplantar a las máquinas propulsoras principales... por lo menos en las próximas décadas.



Hay propuestas más radicales para aprovechar el viento, reintroduciendo los buques de vela para tráficos de larga distancia que aprovechen los vientos dominantes, como durante el siglo XIX, pero utilizando modernas tecnologías de materiales y de servocontrol, junto con

diseños aerodinámicos avanzados, en buques de vela de nueva generación.

Se ha propuesto incluso utilizar cometas auxiliares (como en el deporte “kitesurf”) que impulsarían los grandes buques de carga una vez estuviesen mar adentro y fuera de rutas congestionadas. El rendimiento energético es por supuesto muy superior al de las velas convencionales porque se aprovechan los vientos a cierta altura, que son más fuertes que en superficie. Evidentemente, el izado y arriado de la cometa, así como la maniobrabilidad con la cometa en alto, son las asignaturas pendientes.

2.4 Impacto económico.

Los costos económicos y sociales del cambio climático son difíciles de evaluar, pero según diversos estudios, dignos de tener en cuenta, no sólo en sus aspectos económicos, que se calculan en varios puntos de porcentaje del Producto Mundial Bruto; sino también en daños para la salud humana, aumento de mortalidad y destrucción de ecosistemas. En algunas islas, zonas costeras y zonas especialmente sensibles al cambio de clima los daños llegarían a ser muy graves. En consecuencia, los beneficios de reducir las emisiones de CO₂ son muy grandes.

Afortunadamente, los costes son nulos porque la reducción del consumo de combustible aparece beneficios económicos *per-se* de forma que hay un fuerte incentivo para reducir las emisiones sin necesidad de legislación específica o de presiones sociales.

2.5 Resumen y perspectivas.

Las emisiones de CO₂ de origen humano son sospechosas de contribuir al calentamiento global, que puede potencialmente provocar daños o problemas ambientales y económicos incalculables.

El protocolo de Kyoto está ya en vigor y establece objetivos de reducción de emisiones de CO₂, que para el transporte marítimo son sólo indicativas. No obstante, es probable que la OMI emita normas de tipo vinculante a medio plazo.

Por imperativos económicos, ya que están ligadas directamente al consumo de combustible, desde 1975 las emisiones de CO₂ derivadas del transporte marítimo se han reducido un 60% en términos relativos y puede que un 10-20% en términos absolutos.

No hay alternativas tecnológicas a medio plazo pero si hay margen de mejora con las tecnologías convencionales. Algunas aplicaciones de aprovechamiento de la energía del viento podrían adquirir un volumen minoritario pero significativo a largo plazo.

El impulso hacia el ahorro de combustible y la reducción de emisiones de CO₂ está recibiendo un poderoso incentivo por las subidas del petróleo de los últimos años, por lo que es previsible una mejora importante a medio plazo.

Capítulo 3. Emisiones de SO₂ y otros óxidos de azufre.

3.1 Situación actual.

La lluvia ácida se ha convertido en un problema medioambiental de primer orden en los últimos años en determinadas regiones de nuestro entorno, como es el caso del Mar Báltico y del Mar del Norte.

La mayor parte de las emisiones de SO₂ proceden de la quema de carbón y combustibles, que se produce principalmente en las centrales eléctricas, en la calefacción de las viviendas, en el comercio y los servicios, en la industria y en los vehículos de gasoil o de gasolina, incluidos los barcos y aviones.

El SO_x se combina rápidamente con el amoníaco del aire, creando sulfato amónico y originando una neblina, u oscurecimiento, que reduce la visibilidad y aumenta la cantidad de luz solar que se refleja de vuelta al espacio. Al tiempo que deteriora el "aire limpio y claro", también influye en el clima. Cuando se respira, el SO_x, irrita las fosas nasales y los pulmones y es dañino para nuestra salud (así como para los animales y las plantas).

Cuando el SO_x cae a tierra lo hace, en gran parte, como ácido sulfúrico, lo que da lugar al término "Lluvia Ácida". En muchos ecosistemas hay suficientes "reguladores" en el agua y el suelo para neutralizar el ácido, que se comporta como el azufre de las fuentes naturales. Esta capacidad reguladora proviene de la piedra caliza o de la geología cretácica del suelo. Las tierras aluviales, más antiguas, también suelen tener mayor capacidad reguladora. Después de proporcionar azufre al ecosistema (quizás con efecto fertilizante) el resto vuelve al mar.

Por el contrario, algunos ecosistemas, especialmente los asociados con geologías graníticas, no tienen capacidad para neutralizar todo el ácido que cae, lo que hace que el suelo y el agua dulce se acidulen. El ácido, sulfúrico, además de ser corrosivo, es dañino para todo tipo de vida, siendo más perjudicial según aumenta la concentración.

Es importante reseñar que las emisiones de azufre a la atmósfera desde los buques suponen en la actualidad alrededor de un 4% de las emisiones totales de azufre a la atmósfera, aunque no es menos cierto que este porcentaje ha ido en aumento en los últimos años, dado que mientras que otros sectores industriales cuentan ya con medidas normativas para limitar sus emisiones, las introducidas a nivel mundial para el transporte marítimo (siempre en relación con el azufre), son muy recientes.

3.2 Normativa vigente.

Desde hace años, existe en varios países europeos, especialmente de Escandinavia, una comprensible preocupación por los efectos sobre el medio ambiente de las emisiones a la atmósfera de distinta naturaleza (azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas, CO₂,...) procedentes de la exhaustación de los motores de los buques. En particular, por las emisiones de óxidos de azufre (SO_x), que contribuyen de forma notable a la generación de las llamadas "lluvias ácidas".

Estas materias son objeto del Anexo VI del Convenio Marpol (Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques)⁽ⁱⁱⁱ⁾ que fue adoptado hace ya ocho años, en 1997. No obstante, la falta de ratificación del Anexo VI por muchos paí-

ses (entre ellos, la mayor parte de los europeos) ha retrasado su entrada en vigor, que se ha producido finalmente en mayo de 2005. Debido a este retraso, desde hace años, los países europeos más afectados por esta problemática han presionado para acelerar la entrada en vigor de dicho Anexo VI y, más tarde, considerando que la misma tal vez no se produjese nunca, a favor del establecimiento unilateral de una normativa UE sobre esta materia.

Paradójicamente, cuando por fin el Anexo VI va a entrar en vigor, la UE ha publicado una Directiva que endurece muy sensiblemente las prescripciones del mismo y podría perjudicar muy seriamente no sólo la competitividad de la flota europea, lo que podría solucionarse mediante la aprobación de medidas que paliasen su impacto económico, sino alguno de los objetivos medioambientales prioritarios de varios países del Sur de Europa, entre los que se encuentra España.

3.2.1 Normativa Internacional.

Como queda dicho, el Anexo VI del Convenio MARPOL regula las emisiones a la atmósfera de gases procedentes de los buques. Con respecto a los **óxidos de azufre** la Regla 14 del Anexo VI establece unos límites máximos del contenido de los mismos en los combustibles marinos:

- Un límite máximo general (mundial) del **4,5%** de azufre.
- Un límite más exigente, del **1,5%**, en aquellas zonas que hayan sido designadas formalmente por la OMI como Zonas de Control de Emisiones de SO_x (*Sulphur Emission Control Areas* - SECA) o, alternativamente, los buques deberán instalar un sistema de limpieza de los gases de escape o utilizar métodos y tecnologías verificables para reducir las emisiones de SO_x, que tengan un efecto equivalente. Actualmente la única SECA establecida es la zona del mar Báltico, donde esta exigencia entra en vigor en 2006. En la última reunión del MEPC de la OMI, que ha tenido lugar entre los días 18 y 22 de julio de 2005, se ha adoptado una enmienda a este Anexo VI incluyendo al Mar del Norte como nueva SECA. La fecha de entrada en vigor de esta enmienda está prevista para el 21 de noviembre de 2006 y las prescripciones sobre la zona SECA del Mar del Norte se aplicarán un año después (noviembre de 2007).

Estas prescripciones se aplican a todos los buques desde el pasado 19 de mayo de 2005 excepto, como queda dicho, para el Mar del Norte.

3.2.2 Normativa Europea vigente.

En la UE, hasta 1999, la reglamentación sobre la contaminación atmosférica y el contenido de azufre de los combustibles no hacía ninguna referencia a los combustibles utilizados por los buques. Es el caso de las siguientes disposiciones (en cada referencia, el primer número es el año de su adopción):

- La **Directiva 75/716/CEE**, que establece límites respecto al contenido de azufre de los combustibles líquidos. En aplicación de la misma, varios Estados miembros han fijado el 0,2% de contenido de azufre para los combustibles utilizados en tierra.
- La **Decisión 81/462/CEE**, que vincula a Europa como unidad geográfica afectada por las emisiones, y establece la elaboración de estrategias y políticas comunes encaminadas a la limitación de emisiones.

- La **Directiva 93/12/CE**, no aplicable a los combustibles marinos, que establece los siguientes límites al contenido de azufre:
 - 0,2% en peso a partir del 1 de octubre de 1994
 - 0,05% en peso a partir del 1 de octubre de 1996.
- La **Directiva 99/32/CE**, que, en su forma inicial, no se aplicaba a los combustibles líquidos derivados del petróleo utilizados por los buques, salvo a los gasóleos. Por tanto, no se aplica a los fuelóleos utilizados a bordo de buques. No obstante, cabe resumir sus exigencias como sigue:
 - Contenido máximo de S en los Fueloleos: 1% en peso a partir del 1 de enero de 2003.
 - Contenido Gasóleos (DMX, DMA, DMB y DMC en buques):
 - 0,2% en peso a partir del 1 de julio de 2000.
 - 0,1% en peso a partir del 1 de julio de 2008.

Establece algunas excepciones geográficas (Art. 4.2)

- La **Directiva 2001/81/CE** establece las emisiones globales límite para el territorio europeo y los procedimientos para el cálculo de las emisiones por cada una de las cuadrículas del mismo. En particular considera que el transporte marítimo contribuye mucho a las emisiones perniciosas y que en la directiva 99/32 se establecía la necesidad de evaluar y corregir la influencia de las emisiones debidas a los combustibles marinos. Establece que en 2002 se informará de la influencia de las emisiones de tráfico marítimo internacional, así como los valores de emisiones de cada país. Los techos de emisiones deberán cumplirse antes del 2010.
- La **Directiva 2005/33/CE** por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. Esta Directiva incluye las disposiciones aplicables a nivel internacional a través del Anexo VI del Convenio MARPOL, estableciendo además:
 - Máximo de 1,5% de azufre para los combustibles marítimos de todos los buques de navegación marítima en el Mar del Norte, desde el 11 de agosto de 2007, salvo que antes del 11 de agosto de 2006 se produzca la designación formal, por parte de la OMI, del Mar del Norte como SECA, en cuyo caso deberá cumplirse 12 meses después de dicha designación.
 - Máximo del 1,5% de azufre para los combustibles marítimos utilizados por buques de pasajeros en servicios regulares efectuados desde o hacia puertos comunitarios, con efectos desde el 11 de agosto de 2006. Esta es la disposición que va más allá de MARPOL que se aplicará más perentoriamente.
 - Para los buques que estén atracados en puertos comunitarios o circulen por vías navegables, máximo del 0,1% a partir del 1 de enero de 2010. Habrá una exención para los buques que realicen escalas de menos de 2 horas. A los buques que realicen escalas de más de 2 horas y, por tanto, deban utilizar combustible de muy bajo contenido de azufre, se les concederá “el tiempo suficiente” para hacer el cambio, lo antes posible después del atraque y lo más tarde posible antes de la salida.

Estos puntos reflejan el acuerdo alcanzado entre el Consejo y el Parlamento Europeo el 6 de abril de 2005 y suponen una sensible suavización respecto de la posición adoptada por el Parlamento en primera lectura un año antes. Sin embargo,

sigue siendo mucho más exigente que la normativa internacional reflejada en el Anexo VI de MARPOL.

A cambio de suavizar sus posturas, el Parlamento Europeo ha conseguido que se refuerce el procedimiento de informe y revisión de la directiva que obliga a la Comisión a remitir un informe al Parlamento Europeo en 2008, sobre la base de:

- Informes anuales que deberán remitir los Estados miembros antes del 30 de junio de cada año sobre el contenido de azufre de los combustibles líquidos incluidos en el ámbito de aplicación de la Directiva, que deberán necesariamente incluir:
 - un registro del número total de muestras tomadas, según el tipo de combustible,
 - la cantidad de combustible utilizado de cada una de las muestras anteriores,
 - contenido medio de azufre,
 - número de inspecciones hechas a buques y
 - un registro del contenido de azufre de los combustibles marinos que no entren en el ámbito de aplicación de la Directiva.
- Tendencias observadas en la calidad del aire, acidificación, costes de combustibles y modos de transportes utilizados.
- Progreso realizado en la OMI para reducir las emisiones de óxidos de azufre de los buques
- Un nuevo estudio coste-beneficio, que incluya los beneficios medioambientales directos e indirectos de las medidas adoptadas y posible medidas adicionales para reducir las emisiones.

En el estudio, la Comisión deberá prestar especial atención a propuestas encaminadas a:

- La designación de nuevas SECAs y
- La reducción del contenido de azufre en las SECAs hasta un 0,5%.

3.3 Situación Técnica.

3.3.1 Disponibilidad de combustibles de bajo contenido de azufre.

La aprobación de la Directiva 2005/33 sobre contenido de azufre implica la necesidad de abastecer a los buques con combustibles de bajo contenido de azufre, para lo cual existen tres posibles vías:

- **Mezcla de FO con destilados de bajo azufre:** Este camino no es de aplicación en el caso de 0,1% de azufre, por la inexistencia de residuos aptos para ello dedicados a estos usos. En el caso general, esta posibilidad es limitada, pues en la UE no se podrían producir por este procedimiento más de 5 Mt de FO < 1,5% S, que sólo suponen un 13% de la demanda total.
- **Procesamiento de crudos dulces** (bajos en azufre). Sería el método más efectivo, aunque tiene también sus limitaciones, porque la producción mundial de crudos dulces es escasa, de solo unos 700 Mt/año (aproximadamente el 18% de la producción), va en disminución y los crudos que la reemplazan son agrios, lo que ha sido determinante para que en 2004 los diferenciales de precio entre ambos tipos, dulces y agrios se hayan ampliado considerablemente.

- **Hidrodesulfuración de residuos.** Este proceso generalmente incluye la obtención de hidrógeno (H_2) y que éste reaccione con el azufre del combustible para formar sulfuro de hidrógeno, que se puede volver a procesar para obtener ácido sulfúrico, un producto químico muy útil en la industria, o bien azufre elemental, que también tiene valor en la industria química. También se puede producir sulfato cálcico (yeso) para material de construcción.

La hidrodesulfuración es el único método que, hoy por hoy, puede generar una oferta suficiente de fuel bajo en azufre y tiene un cierto atractivo medioambiental, ya que el azufre recuperado podría reemplazar al que se obtiene en las minas para la industria química. Lo mismo es aplicable al yeso. Pero es también el método más caro y sobre todo, **es un proceso energéticamente muy intensivo**. Las emisiones de CO_2 que habría que producir para satisfacer el 50% de la demanda europea de combustibles con 0,5% de azufre serían de cerca de 11 Mt/año, según el estudio de BEICIP-FRANLAB⁽ⁱⁱⁱ⁾ realizado por encargo de la Comisión.

Sin embargo, el aumento a que puede dar lugar en las emisiones de CO_2 podría tener efectos muy negativos, no sólo para el transporte marítimo, sino incluso para otros aspectos de la política medioambiental, especialmente en el sur de Europa y resultan muy contraproducentes para el cumplimiento por España del protocolo de Kyoto.

3.3.2 Análisis de posibles alternativas.

Se han desarrollado algunos procedimientos para eliminar el azufre de los gases de exhaustación de los motores, de forma que las emisiones a la atmósfera alcancen los niveles de azufre aceptados por la normativa, sin necesidad de cambiar el combustible. El procedimiento más prometedor es la depuración mediante agua de mar o *Seawater Scrubbing*.

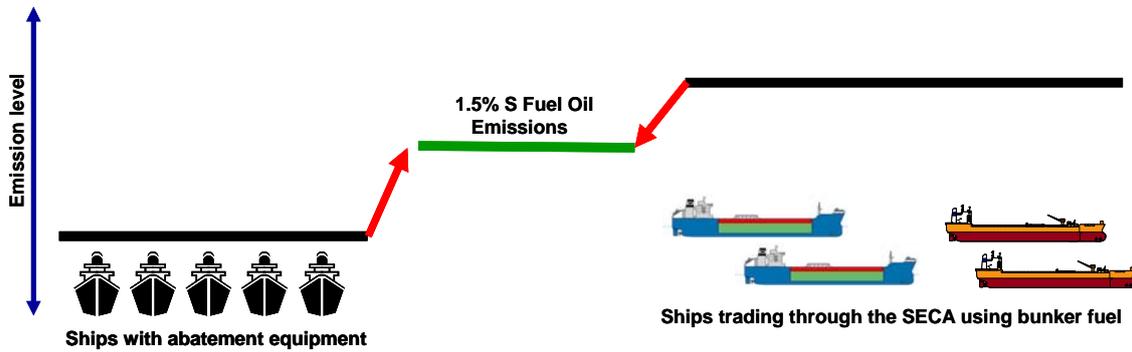
3.3.2.1 Seawater Scrubbing.

Si se ponen en contacto los gases de exhaustación con agua de mar, se produce una rápida y eficaz reacción entre el SO_x y el Carbonato cálcico ($CaCO_3$) contenido en el agua, para formar Sulfato cálcico (yeso) y CO_2 . Esta reacción neutraliza la acidez del SO_x y consume algo de la capacidad neutralizadora del agua de mar. La reacción acaba en un tiempo muy corto, por lo que los equipos para tratar los gases de escape mediante este procedimiento, que se conoce como *Seawater Scrubbing* (SWS) mar pueden ser compactos y aún lograr una alta eficacia en la reducción (sobre el 95%).

Esta depuración cortocircuita todo el ciclo del SO_x y retorna el azufre a la mar. Sin embargo este sistema genera algunos inconvenientes que es preciso analizar más a fondo, como la repercusión sobre el agua de mar o sus criaturas de un aumento de su acidez y el posterior tratamiento del agua utilizada para la depuración.

Las pruebas disponibles sugieren que, en una utilización práctica inmediata, el cambio en la acidez del agua de mar sería apenas perceptible a más de 1 ó 2 metros de cualquier descarga, de unas partes por millón o ppm comparado con el azufre que ya hay allí.

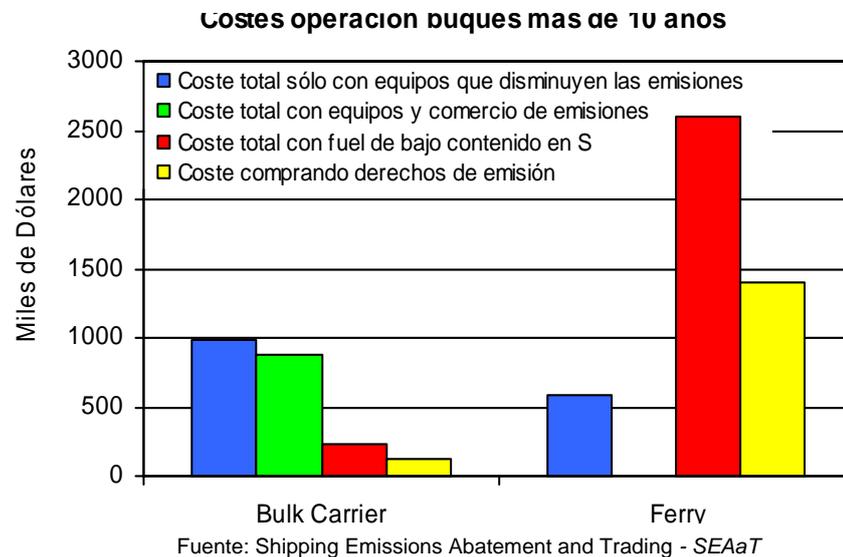
Sin embargo, todavía no sabemos cuánto se puede utilizar el agua de mar antes de que pierda su efectividad para depurar, o cuándo los cambios en el contenido de azufre serán lo suficientemente grandes para ser dañinos. Se está investigando activamente en este campo.



Fuente: Shipping Emissions Abatement and Trading - SEAA T

3.3.2.2 Comercio y compensación de emisiones^(iv).

El cumplimiento de la nueva normativa en buques existente creará, en general, mayores dificultades y costes mucho más elevados que cuando se trate de buques de nueva construcción.



Fuente: Shipping Emissions Abatement and Trading - SEAA T

Por ello, la organización SEAA T (*Shipping Emissions Abatement and Trading*) ha propuesto combinar la aplicación en algunos buques de combustibles de bajo contenido de azufre o sistemas que depuren los gases emitidos hasta niveles sensiblemente por debajo de los exigidos por la normativa, junto con un sistema de comercio y compensación mutua de emisiones.

Como se esquematiza en la figura, un grupo de buques, los de una misma empresa o los de varias empresas que colaboren entre sí, conseguirían, en conjunto, niveles de emisiones de azufre iguales o inferiores a los que alcanzarían si todos utilizasen combustible de bajo contenido en azufre.

Como ejemplo, la figura analiza los costes estimados de operación de dos buques de diez años de antigüedad, en función del método utilizado para disminuir las emisiones: un granelero de 14.000 kW que opere el 10% del tiempo en SECAs (unas 450 horas anuales) y un ferry de 10.000 kW que siempre se encuentra en SECA (unas 6.500 h/año).

Para el granelero, la opción que origina menores costes de operación es la compra de derechos de emisión, ya que si este buque tuviese que instalar unos equipos que disminuyan las emisiones, sus costes serían muy superiores (próximos al millón de dólares). Pero en el ferry, la utilización únicamente de combustible de bajo contenido en azufre supondría unos costes de operación superiores, mientras que una utilización combinada de depuración y comercio de emisiones, supondrían un sobrecoste de operación prácticamente insignificante.

De este modo, las empresas navieras que operen buques en los que sean muy complejas o costosas las transformaciones necesarias para cumplir directamente la directiva, o que vayan a venir muy esporádicamente a aguas europeas, podrían comprar directamente derechos de emisión (a modo de una tasa medioambiental), sin ninguna otra complicación.

Otra ventaja del comercio de emisiones es que daría tiempo a las refinerías a adaptar progresivamente sus procesos productivos a las nuevas demandas, sin sacrificar el objetivo final de reducir globalmente las emisiones.

Mediante la competencia y los incentivos fiscales se podría estimular la inversión en el desarrollo de nuevas tecnologías de depuración, basadas en SWS o procesos similares, mientras se reduce la penalización de la competitividad del transporte marítimo, que es, globalmente, y con gran diferencia, el más respetuoso con el medio ambiente.

El estudio que para 2008 debe presentar la Comisión Europea debería aceptar el comercio de emisiones como una posibilidad más para cumplir las disposiciones de la Directiva.

3.4 Impacto Económico.

3.4.1 Aumento de los precios de los combustibles.

La siguiente figura^(v) muestra la evolución estimada del incremento de precios entre el actual fuelóleo marítimo, con un contenido promedio en azufre del promedio del 2,9% y fuel bajo en azufre (1,5%). La previsión es que, a medida que aumente la producción de fuel bajo en azufre, cada vez será mayor el diferencial de precio, dado que será más difícil y costosa la eliminación del azufre de un fuel cada vez más residual.

Los siguientes datos de costes también proceden de la Comunicación anterior de la Comisión Europea.

Fuelóleo Pesado:

- Precio medio en Rotterdam 1997-2001 110 €/t
- Incremento precio fuelóleo (<1,5% S) estimado (Europa) 50 €/t
- Incremento precio fuelóleo (<1,5% S) estimado (fuera Europa) 60 €/t
- Precio medio fuelóleo pesado estimado medio (<1,5% S) 165 €/t
- Incremento coste combustible zona de navegación europea (< 1,5% S) 55 €/t
= 50%

Marine Diesel Oil:

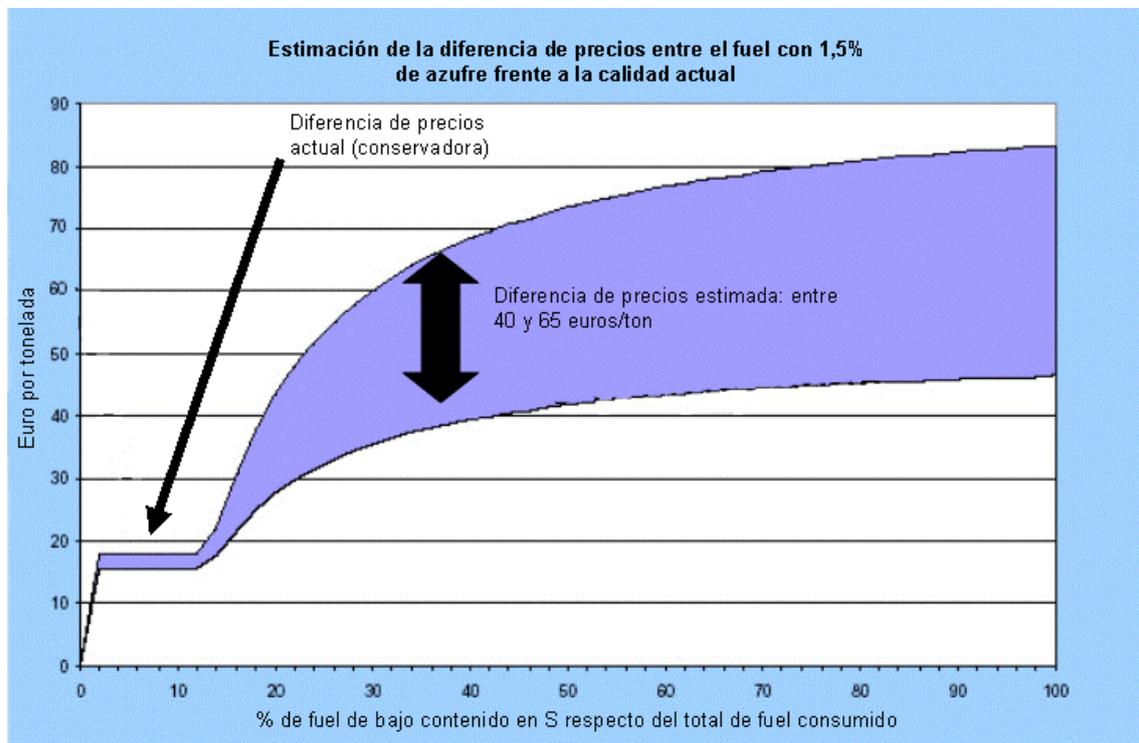
- Precio medio MDO Estándar 190 €/t

- Incremento precio (<0,1% S) 17 €/t
- Precio estimado combustible (<0,1% S) 207 €/t
- Incremento precio respecto FO pesado (207-110) 97 €/t = 88%

Un estudio de Entec^(vi) prevé que para 2006 se consumirán anualmente en la SECA del Mar Báltico (y en la que previsiblemente se aprobará en el Mar del Norte) unos 14 Mt de combustible marino. Los datos de emisión muestran que en la UE se consumen anualmente otros 4 Mt en buques de pasajeros de línea fuera de las SECAs. Con arreglo a la propuesta, estos 18 Mt de combustible deben tener un contenido en azufre igual o inferior al 1,5%. Suponiendo, según sugiere la propia Comisión, un incremento medio del precio de 55 euros/t, el incremento anual de costes originado por la Directiva para 2006 sería: $(14 \text{ Mt} \times 55 \text{ €/t}) + (4 \text{ Mt} \times 55 \text{ €/t}) = \mathbf{990 \text{ M€}}$

Por otro lado, el mismo estudio de Entec estima que los buques atracados en puertos de la UE consumen unos 2,3 Mt de combustible. Teniendo en cuenta el incremento medio del Marine Diesel Oil respecto del Fuel Oil pesado indicado anteriormente, el incremento anual de costes de la propuesta relativa a los puertos para 2010 ascendería a $2,3 \text{ Mt} \times 97 \text{ €/t} = \mathbf{223 \text{ M€}}$

Tal y como dice la propia comunicación de la Comisión, estos costes adicionales, que superan los **1.200 M€** se repercutirán por los refinadores a las empresas navieras a través de unos mayores precios del combustible, como ha sucedido en anteriores modificaciones de la calidad.



Fuente: Beicip Franlab 2002

3.4.2 Aplicación a un caso concreto.

Como es natural, ese aumento de los precios del combustible repercutirá de forma muy diferente en los diferentes tráficos y tipos de buques, siendo mucho más elevado para aquellos que desarrollen toda su actividad en aguas europeas, especialmente para los buques de pasaje y ferries.

A título de mero ejemplo, se recogen a continuación unos cálculos, extraídos del informe presentado por INMAR S.L.^(vii) en la Jornada Técnica del Sector Marítimo organizada por ANAVE y celebrada el pasado 27 de enero de 2005 en Bilbao.

Se analiza el caso de un buque petrolero con un consumo de 62 t/día que tuviera una singladura para descarga de crudo en un puerto del Norte de Europa que, con arreglo a los incrementos de precios arriba indicados, tendría los siguientes sobrecostos:

	•	Días ida de navegación Mar del Norte: 62 t/día	1,5	}	Azufre < 1,5%
		días			
	•	Días vuelta de navegación Mar del Norte: 62 t/día	1,5 días		
	•	Descarga en puerto con lavado total y un consumo de 100 t en la descarga		}	Azufre < 0,1%

Que supondrían, en resumen:

- $(2 \cdot 1,5 \cdot 62) \cdot 55 = 10.230 \text{ €}$
- $100 \cdot 97 = 9.700 \text{ €}$

TOTAL sobrecostos 19.930 €/viaje

Como puede apreciarse, el aumento de coste, incluso para un buque que opera muy brevemente en aguas europeas, es realmente muy importante.

3.5 Perspectivas.

Según un estudio realizado por IIASA^(viii) para la Comisión, en la UE-15 y en comparación con el año 2000, se estima que en 2010 las emisiones de SO₂ se habrán reducido alrededor de un 56 y un 63% en 2020. Estas estimaciones incluyen los efectos positivos de todas las nuevas normas aprobadas en los últimos años, no sólo las relativas al transporte marítimo. En la actualidad no se dispone de datos desglosados sobre los porcentajes de reducción consecuencia de las limitaciones en el contenido de azufre de los combustibles marinos.

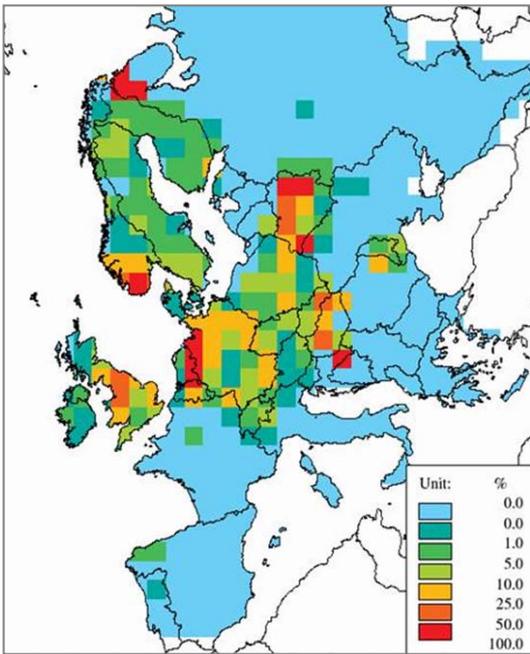
Sin embargo, es importante realizar un análisis global sobre las posibles repercusiones medioambientales que esta nueva normativa puede traer consigo.^(ix)

¿Tienen justificación medioambiental las propuestas de restricciones de SO₂ en el Mediterráneo y el Atlántico? Para contestar esta pregunta es necesario aclarar previamente un malentendido que a veces se presenta. Para desarrollar una estrategia económicamente eficaz que defina objetivos medioambientales concretos **no es apropiado centrarla en las emisiones únicamente**. Hay que entender la relación entre las fuentes de las emisiones y su contribución a la superación de los objetivos fijados. Si una fuente de emisiones en particular no contribuye a tal superación, es medioambientalmente inocua y cualquier inversión para reducir sus emisiones es un derroche superfluo de recursos desde el punto de vista ambiental.

Para ilustrar esta afirmación en el caso de las emisiones de SO₂ desde buques, comparemos las Fig. 1 y 3 siguientes, teniendo en cuenta la Fig. 2. La Fig. 1 muestra las emisiones de SO₂ de los países europeos (UE 15 + alguno de los recientes miembros + Suiza y Noruega) y las cuatro zonas marítimas que bordean la UE. Son previsiones para 2010 de acuerdo con el Protocolo de Gotemburgo y las obligaciones de la Directiva de Techos Nacionales de Emisión (DTNE). En ella no están reflejadas las implicaciones de la ratificación y aplicación del Anexo VI del Convenio MARPOL de la OMI.

Dados los altos niveles de emisiones que muestran las zonas del Atlántico y Mediterráneo, si se analiza esta Fig. 1 aislada podría pensarse que es fundamental para la UE el control de emisiones de azufre en estas zonas.

Fig. 2

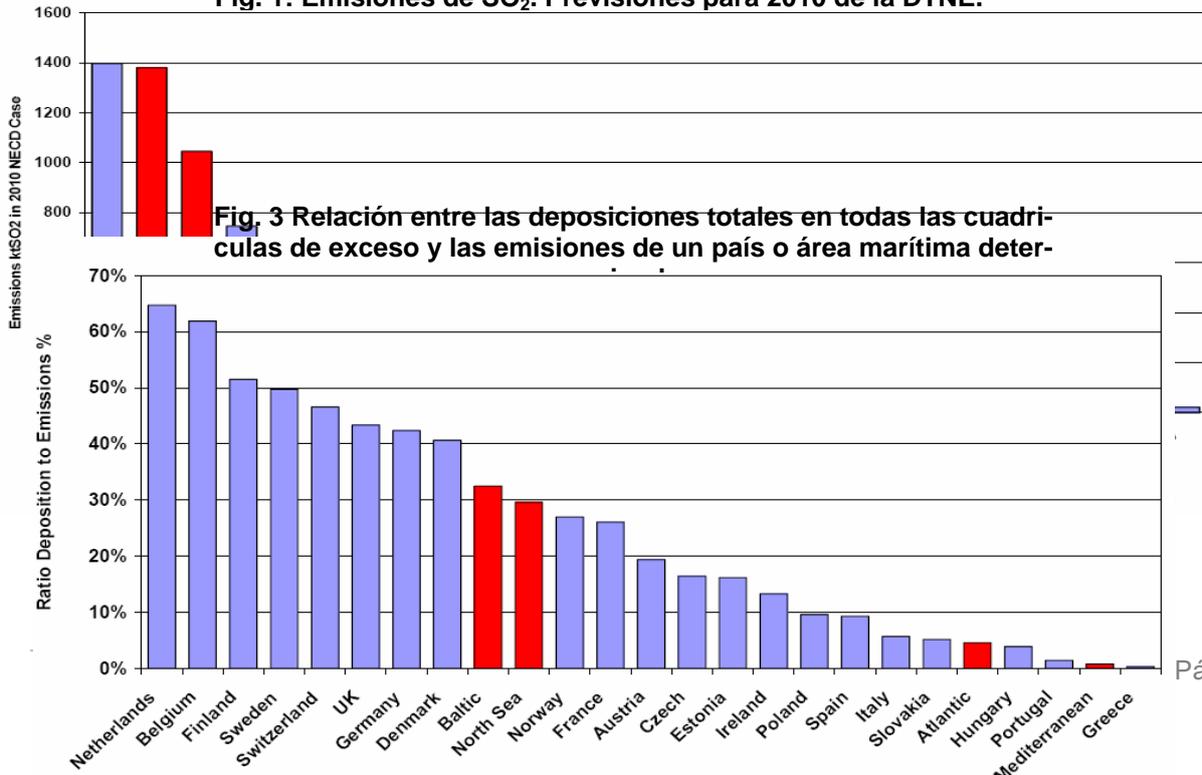


Sin embargo, la Fig. 2 proporciona una corrección importante a tal conclusión. Muestra los resultados de una parte del Modelo Integrado de Evaluación utilizado para la DTNE, en concreto, las cuadrículas del Mapa Europeo de Contaminación (EMEP) para las que se predice que se supera en algún ecosistema la carga crítica ácida en el año 2010, en el supuesto de que se hayan adoptado todas las medidas vigentes actualmente en materia de reducción de emisiones. Los números de la leyenda indican el **porcentaje de ecosistemas que superan su carga crítica**. Si es cero, ningún ecosistema la rebasa.

Para ilustrar la diferencia entre un foco de “emisión” y un foco de “deposición” se pue-

Fuente: Monitoring and Evaluation of the Long-range

Fig. 1: Emisiones de SO₂. Previsiones para 2010 de la DTNE.



Fuente: Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP)

de utilizar la base de datos del Instituto Noruego de Meteorología (NMI – *Norwegian Meteorological Institute*)^(x), que incluye las **contribuciones individuales de cada zona emisora a cada cuadrícula EMEP**, lo que permite determinar en qué porcentaje contribuye una determinada fuente de emisiones a las deposiciones en cada “cuadrícula de exceso”, es decir las que tienen algún número en la Fig. 2. Los resultados de este análisis se representan en la Fig. 3, que da una perspectiva muy diferente a la de la Fig. 1. Aunque las emisiones de SO₂ de la navegación en los mares Mediterráneo y Atlántico son la segunda y la tercera en la “Europa 2010” (Fig. 1), **la aportación de esas emisiones a las cuadrículas de exceso de la UE resultan ser menores de 1% y 4% respectivamente**. Con los mares Báltico y del Norte, ocurre lo contrario, pues estas regiones depositan alrededor del 30% de sus emisiones en las cuadrículas europeas de exceso.

Como consecuencia, la eliminación de 1 t de azufre depositado en las “cuadrículas de exceso” requeriría una reducción de 100 t de azufre en las emisiones de los buques que naveguen por el mar Mediterráneo o 25 del océano Atlántico. Por el contrario, en el caso de los mares Báltico o del Norte, una reducción de tan sólo 3 t de azufre conseguirá la eliminación de la misma 1 t en la deposición. Cualquier justificación coste-beneficio para los mares Báltico y del Norte no es de aplicación para el Mediterráneo y el Atlántico pues **los costes para conseguir el mismo beneficio medioambiental son al menos diez veces superiores**.

Por tanto, como conclusión, cabe señalar que **la extensión de las SECAs y de la limitación especial del contenido de azufre en el combustible marino más allá de los mares Báltico y del Norte parece carecer, de acuerdo con los datos de la DTNE, de justificación medioambiental y de coste-beneficio**. De modo que una iniciativa en ese sentido tendría que estar fuertemente soportada por estudios ya que su promulgación tendría grandes repercusiones económicas para los sectores de refino y naviero tanto europeos como españoles, además de su repercusión sobre otros sectores económicos en determinados puertos españoles, sin, aparentemente, presentar grandes ventajas ambientales.

Aparte de no aportar grandes ventajas desde el punto de vista medioambiental, si se **considera el binomio** coste-beneficio, la introducción de limitaciones en el contenido de azufre de los combustibles marinos en los países del Sur de Europa, más allá de lo dispuesto en la normativa internacional vigente, podría perjudicar la política de transportes de la UE, basada, a su vez, en razones de índole medioambiental.

En efecto, uno de los objetivos prioritarios de dicha política es **promover un reequilibrio entre los modos de transporte, con un mayor desarrollo del transporte marítimo intraeuropeo (*Short Sea Shipping* - SSS) a expensas de la carretera**. Las razones que apoyan esta iniciativa son, en gran medida, medioambientales pues, como señala la Comisión en su último Libro Blanco sobre la Política de Transportes^(xi), el transporte marítimo es el que genera menos costes externos, menor siniestralidad y, también con gran diferencia, el modo de transporte de menor consumo específico de combustible. En consecuencia, es el que produce **menores emisiones de CO₂**, motivo por el cual **el transvase modal carretera-marítimo constituye también una pieza muy importante para el cumplimiento por la UE de las exigencias del protocolo de Kyoto**^(xii).

Las limitaciones del contenido de azufre, como se ha visto, producirán un aumento muy notable del precio de los combustibles marinos, lo que restará sin duda competitividad al SSS frente a la carretera. Ello traerá varias consecuencias negativas:

- no se realizará tanto transvase modal a favor del SSS como podría conseguirse si los precios del combustible marino no aumentasen y, consecuentemente
- las emisiones de CO₂ debidas al transporte, el consumo de combustible y los costes externos generados serán sensiblemente superiores.

Si se consideran conjuntamente los dos puntos mencionados en este informe:

- Pérdida de competitividad del transporte marítimo intraeuropeo (SSS) frente a la carretera y, en consecuencia, menor trasvase de mercancías de la carretera al mar y mayor producción de CO₂ y costes externos.
- Crecimiento de las emisiones de CO₂ por la necesidad de obtener combustibles con bajo contenido de azufre mediante hidrodesulfuración.

Se puede deducir que una normativa UE excesivamente exigente en materia de emisiones de azufre resultaría **claramente contraproducente para otros objetivos comunitarios, tanto de política de transportes como medioambientales, en particular, para la reducción de las emisiones de CO₂.**

En el caso de España, es bien conocido que la cumplimentación de las exigencias del protocolo de Kyoto va a exigir unos esfuerzos muy importantes, hasta el punto de que se van a promover por el Gobierno programas especiales de ahorro energético.

Por tanto: las medidas en exceso de las ya previstas por el Anexo VI de Marpol deben ser cuidadosamente estudiadas por los expertos y consensuadas por todas las partes interesadas, ya que una solución meramente política podría poner en peligro la cumplimentación de los objetivos de la política de transportes de la UE y resultarían muy contraproducentes para el cumplimiento por parte de España del protocolo de Kyoto.

Capítulo 4. Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y Ozono (O₃)

4.1 Situación actual.

4.1.1 Naturaleza y peligros de los óxidos de nitrógeno.

Según un estudio técnico para la UE^(iv), las emisiones de NO_x desde buques en aguas de la UE supusieron **3,6 millones de toneladas** en el año 2000.

UNIÓN EUROPEA - AÑO 2000 EMISIONES DE NO _x DESDE BUQUES (KTONS)				
TRANSPORTE MARÍTIMO		BANDERA		TOTAL
DESDE	HACIA	EU-25	NO-EU	
eu-25	eu-25	1152,6	860,3	2012,9
eu-25	otros	273,9	404,0	677,9
otros	eu-25	231,8	354,2	586,0
otros	otros	80,1	177,7	257,8
TOTAL TRANSPORTE		1738,4	1796,2	3534,6
PESCA				62,0
TOTAL BUQUES				3596,6

Aproximadamente el 56% de esta cantidad se produce por navegaciones entre puertos de la UE, un 35% se produce por buques que llegan o salen de puertos de la UE con origen o destino en terceros países, mientras que las emisiones de buques que pasan por aguas de la UE sin tocar en sus puertos supone apenas el 7% del total. La mitad de las emisiones las producen buques con banderas de la UE y el resto con banderas

de otros países.

Por ello, el control de las emisiones de los buques de bandera europea y de los buques que tocan puertos de la UE es fundamental para minimizar estas emisiones.

4.1.2 Origen y causas de la producción de estos contaminantes.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) se forman durante el proceso de combustión dentro de las nubes de combustible pulverizado ardiendo. Los parámetros dominantes para la formación de NO_x son la temperatura y la concentración de oxígeno. A la temperatura de combustión el nitrógeno ya no es un gas inerte y se combina inevitablemente con el oxígeno formando NO_x. Una regla aproximada indica que un aumento de temperatura de combustión de 100°C triplica la formación de NO_x.

La primera reacción química es la formación de NO, parte del cual se transforma luego en NO₂ y N₂O en pequeñas cantidades, que aumentan ya una vez exhaustadas a la atmósfera. Las emisiones de NO_x de los motores "normales" (sin medidas reductoras) son bastante altas: 14-16 g/kWh en motores de 4T y hasta 18-20 g/kWh en los de 2T. Los valores típicos mencionados en el estudio ENTEC para la UE (que deben considerarse optimistas y propios de motores modernos) son:

Tipo de máquina	Vel. giro (RPM)	Gasóleo (MGO/MDO)	Fuel pesado (HFO)
Motor diesel	Baja	13,6	14,5
	Media	10,6	11,2
	Alta	9,6	10,2
Turbina de gas	Todas	2,9	3,1
Turbina vapor	Todas	1,6	1,7

El control del NO_x es un reto para los proyectistas de motores, porque los parámetros que aumentan el rendimiento y la potencia también aumentan las emisiones de NO_x. Hay varios métodos para reducir las emisiones de NO_x, pero casi todos ellos implican una pérdida de rendimiento.

4.1.3 Ozono.

El ozono se produce en los buques por mecanismos similares al NO_x. Por tanto, las medidas para reducir las emisiones de NO_x sirven igualmente para reducir las de ozono.

4.2 Normativa aplicable.

No existe por el momento normativa internacional sobre emisiones de ozono desde buques. Tampoco existe normativa europea o nacional. La normativa relativa a los óxidos de nitrógeno es la siguiente:

4.2.1 Internacional.

La normativa aplicable sobre NO_x a nivel internacional es la de la OMI^(xiii), que está contenida en la Regla 13 del Anexo VI del Convenio MARPOL^(xiv), anexo que ha entrado en vigor el 19 de mayo de 2005.

El Anexo VI se aplica a motores diesel de más de 130 kW de potencia, excepto a los que se usen solamente para casos de emergencia. No se aplica a calderas ni a turbinas de gas, porque estas instalaciones intrínsecamente emiten cantidades de NO_x proporcionalmente mucho menores que los motores diesel.

Las plataformas de exploración, producción o procesado de petróleo, ya sean fijas o flotantes, son consideradas como "buques" a los efectos del Anexo VI, excepto en lo referente a los motores utilizados exclusivamente para las operaciones de perforación, producción o procesado de la plataforma en cuestión. Además, se aplicarán las normas del país ribereño en cuya jurisdicción se opere.

Se aplica únicamente a los motores de buques con puesta de quilla a partir del 1 de enero de 2000, o que hayan sufrido a partir de dicha fecha conversiones en las que se instalen nuevos motores o los existentes aumenten su potencia en más del 10% o sufran modificaciones importantes^(xv).

Los límites a las emisiones de NO_x varían en función de la velocidad de giro del cigüeñal. Las emisiones se miden en condiciones estándar de combustible, temperatura del aire y del agua de refrigeración. Los máximos valores permitidos son:

Velocidad del motor (rpm) = n	Límite de emisión de NO _x (g/kWh)
Menos de 130	17
130-1999	$45 \cdot n^{-0,2}$
2000 en adelante	9,8

Los motores afectados por la normativa deberán estar certificados por una entidad reconocida. Dado que existen diferentes modos de operación, cada motor se certificará para la potencia, revoluciones y modo que sean apropiados al uso:

- E2 – propulsión a velocidad constante (incluyendo con hélices paso variable)

- E3 – propulsión o auxiliares operando según la ley cúbica de la hélice
- D2 – auxiliares a velocidad constante
- C1 – otros auxiliares

Existe un Código Técnico para NO_x que define los procedimientos para la obtención inicial de los certificados y su mantenimiento posterior, tanto para motores nuevos como modificados.

Cada motor tendrá asociado un Archivo Técnico a lo largo de toda su vida, reflejando las características del motor y su certificación, así como los componentes críticos a efectos de emisiones de NO_x.

Normalmente, serán los fabricantes de los motores los que obtendrán los certificados correspondientes, aunque ocasionalmente pudiera recaer en el armador esta obligación.

Las sociedades de clasificación están desarrollando los reglamentos y procedimientos para realizar las certificaciones de motores diesel pertinentes según el Anexo VI de MARPOL.

4.2.2 España y la Unión Europea.

Varias leyes comunitarias obligan a la Comisión a adoptar medidas en el ámbito de las emisiones de los buques:

- **Directiva^(xvi) 1999/30/CE del Consejo de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.** Establece que los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para que las concentraciones en el aire ambiente de dióxido de nitrógeno y, en su caso, de óxidos de nitrógeno, evaluadas de acuerdo con las normas de la Directiva, no superen los valores límite indicados a partir de las fechas indicadas.
- **Directiva^(xvii) 2001/81/CE sobre límites nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos:** exige a la Comisión que notifique la contribución de las emisiones del tráfico marítimo a la acidificación, a la eutrofización y a la formación de ozono en el suelo.
- Programa^(xviii) **“Aire puro para Europa”:** combate todas las fuentes de emisiones atmosféricas.
- **Sexto programa^(xix) de acción en materia de medio ambiente:** su objetivo es alcanzar unos niveles de calidad del aire que no tengan efectos inaceptables en la salud humana ni en el medio ambiente y estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar las variaciones artificiales del clima.

En referencia al transporte marítimo, hay una **Comunicación^(xx) de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo - Estrategia de la Unión Europea para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima [COM (2002) 595 final, volumen I]**.

Uno de los objetivos de la estrategia es reducir las emisiones de NO_x de los buques cuando contribuyan a la superación de las cargas críticas de acidificación y de eutrofi-

cación y a los niveles de ozono superficial que afecten a la salud y al medio ambiente. Para alcanzar estos objetivos, la Comunicación propone:

- Modificar la Directiva^(xxi) 1997/68/CE sobre las emisiones de NO_x y partículas de los motores de las unidades móviles no viales.
- Presentar una propuesta al efecto de reducir las emisiones de NO_x de los buques de navegación marítima si la OMI no presenta medidas más estrictas a escala mundial antes de 2007.
- Estudiar la creación de un sistema de instrumentos económicos para reducir las emisiones al aire de los buques por encima de los límites requeridos por la legislación.
- Poner en marcha un sistema de precios que favorezca a las compañías marítimas más respetuosas con el medio ambiente.
- Financiar la investigación en ámbitos que faciliten la reducción de las emisiones de los buques.
- Organizar seminarios sobre las mejores prácticas en el ámbito de las tecnologías de reducción de las emisiones de los buques.

Se han aplicado distintos instrumentos económicos en varios puertos y países del mundo al efecto de reducir las emisiones atmosféricas de los buques. Entre estos instrumentos se cuentan impuestos diferenciados para los combustibles pesados para buques, tasas diferenciadas por el acceso a los puertos e impuestos sobre el tonelaje diferenciados.

4.2.3 Normativas locales.

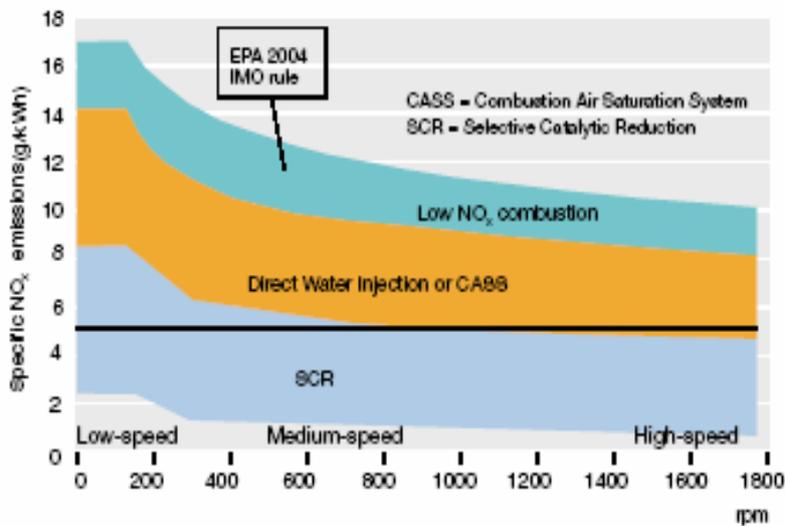
El Estado de California propuso hace poco establecer un canon que penalizase la emisión de NO_x desde buques. Los buques que cumplieren las normas de la OMI pagarían 10.000 USD por tonelada de NO_x emitido en puertos de California. Si se consigue una reducción del 30-80% de las emisiones de NO_x respecto de los máximos de la OMI, se pagaría un 50% del canon. Si la reducción supera el 80% se pagaría solamente el 10% del canon. Finalmente esta legislación quedó paralizada, pero marca una pauta para otras jurisdicciones, como las normas para ferrys en los países Bálticos.

La Agencia Medioambiental de EE.UU. ha propuesto una norma que equivale al Anexo VI de Marpol para los buques de navegación internacional, mientras establece un máximo de 9,2 g/kWh para los demás motores diesel marinos.

4.3 Situación técnica del problema.

Los modernos motores marinos cumplen ya con las normas mínimas de emisiones de NO_x del Anexo VI de Marpol sin necesidad de equipos o precauciones operativas adicionales. En cambio, para alcanzar los niveles exigidos por determinados países o territorios ribereños se necesitan disposiciones especiales.

Existen varios procedimientos para la reducción de emisiones de NO_x de motores diesel, alguno de los cuales puede llegar a su eliminación casi total. Los métodos pueden agruparse genéricamente en dos categorías, primarios, que son los que actúan sobre la combustión dentro del motor y secundarios, que actúan ya sobre los gases de escape.



NO_x emissions compliance of Wärtsilä engines.

Fuente: "The EnviroEngine Concept" www.wartsila.com

Entre los primarios están las modificaciones de la inyección o la cámara de combustión para reducir la producción de contaminantes, así como la rebaja de la temperatura máxima de combustión introduciendo agua en el cilindro, bien mediante inyección directa o emulsionada en el combustible. Con métodos primarios se consiguen reducciones de NO_x del 10% al 50% dependiendo de lo enérgico de la actuación.

Entre los métodos secundarios están los convertidores catalíticos con inyección de amoníaco o urea y los convertidores con inyección de ozono, entre otros. Con estos métodos se consiguen reducciones del 95% en las emisiones de NO_x .

4.3.1 Variaciones en la inyección.

Las primeras medidas para reducir las emisiones de NO_x fueron la reducción de la relación de compresión del motor, para rebajar la presión y temperaturas máximas de la combustión. Estas medidas suponen necesariamente una reducción de la potencia y del rendimiento térmico del motor, y por tanto un aumento del tamaño del motor y del consumo de combustible. Al ser este mayor consumo un factor ecológicamente negativo, se han buscado otros procedimientos.

Recientemente se han desarrollado para ciertos motores^(xxii) de 4T unas modificaciones que reducen significativamente las emisiones de NO_x sin deteriorar el rendimiento o la potencia máxima alcanzables. Se trata de una combinación de tasa de compresión, inicio y cierre de la inyección y caudal de inyección. Los motores así modificados tiene una vida operativa más larga además de menores emisiones. Aumenta la vida útil de las camisas, pistones y aros, se reduce y se estabiliza el consumo de aceite, además mejora el consumo específico. Estas modificaciones son fáciles de instalar en motores nuevos o existentes y tienen una rápida recuperación de costes.

En estos motores se aumenta la compresión poniendo suplementos en la conexión baja de la biela. La mayor presión en los cilindros se compensa con un retardo en la

inyección. Finalmente, se usa una tobera de inyección con perfil especial para reducir la producción de NO_x . Si se utiliza un árbol de levas nuevo con perfil especial, se alcanzan reducciones del 25% en las emisiones de NO_x sin penalidad en el consumo específico.

4.3.2 Inyección de agua.

Al reducir los picos de temperatura durante la combustión, la inyección directa de agua en la cámara de combustión (DWI por sus siglas en inglés “direct water injection”) puede usarse eficazmente para limitar la producción de NO_x . Esta técnica reduce las emisiones de NO_x aproximadamente 50-60% sin afectar negativamente a la potencia del motor. El único consumible el agua limpia y es necesario instalar ciertos equipos. El agua inyectada es entre 40-70% del volumen de combustible.

DWI permite reducir las emisiones a 4-6 g/kWh con diesel oil (MDO) y a 5-7 g/kWh con combustible pesado (HFO). El motor puede operarse sin inyección de agua cuando no sea precisa y se puede pasar de régimen con inyección a régimen sin inyección automáticamente, por ejemplo en caso de emergencia. El sistema requiere muy poco espacio y una inversión pequeña. Se puede instalar fácilmente en buques existentes y sin detener el buque.

Se está experimentando con la inyección de agua en el aire de carga, inmediatamente después del turbocompresor, en vez de directamente en el cilindro (CASS por sus siglas en inglés “Combustion Air Saturation System”). La alta temperatura del aire hace que el agua se evapore inmediatamente y entre en el cilindro como vapor, rebajando la temperatura de combustión. Con el sistema CASS se espera una reducción del 50% en las emisiones de NO_x y el consumo de agua será aproximadamente el doble que el volumen de combustible.

4.3.3 Emulsiones de combustible con agua.

Algunos fabricantes^(xxiii) de motores marinos han adoptado la tecnología de emulsión de agua en el combustible inyectado (FWE por sus siglas en inglés “fuel-water emulsion injection”) en combinación con una temporización variable de la inyección, como método apropiado para reducir las emisiones de NO_x en motores de velocidad media. FWE requiere menor cantidad de agua que otros métodos de introducir agua en los cilindros, a igualdad de producción de NO_x . Además de reducir la formación de partículas sólidas.

Como el agua a inyectar ha de producirse a bordo, se limita al 20% del volumen del combustible en motores de velocidad media. Retrasando la inyección cuando la carga baja del 80% de la potencia máxima, la emisión de NO_x se reduce de 14,5 g/kWh (típico de motores de hace 8-10 años) a 6,7 g/kWh + 20% mientras el consumo específico del motor se mantiene dentro de un rango del 5% de la especificación (3% en motores normales).

4.3.4 Convertidores catalíticos.

El proceso de reducción catalítica selectiva (SCR, por sus siglas en inglés “selective catalytic reduction”) reduce las emisiones de NO_x a sustancias inocuas que normalmente se encuentran en el aire que se respira.

Con una reducción del 85-95% es el método más eficaz que se conoce actualmente. Por tanto, es fácil alcanzar niveles de 2 g/kWh o menores, que cumplen con los más exigentes requisitos para la navegación.



Convertidor catalítico
Foto: www.wartsila.com con autorización

Los fabricantes ofrecen, para prácticamente cualquier motor, una unidad SCR combinada con el silenciador, en un diseño compacto que facilita su instalación en buques nuevos o existentes.

En el catalizador SCR se inyecta una solución acuosa de urea (una sustancia inocua utilizada como fertilizante) en el flujo de gases de escape a una temperatura de 290-450°C. La urea se descompone en amoníaco, que en un proceso catalítico convierte el NO_x en nitrógeno y agua.

El principal coste del sistema SCR proviene del consumo de urea y del reemplazo de los elementos catalizadores. La vida de estos es de unos 3-5 años para combustible líquidos, y algo más si se opera con gas.

El consumo de urea es de 15 g/kWh de solución en agua al 40%. El tamaño del tanque de urea depende del tamaño del motor, del perfil de carga y de la frecuencia con la que se visiten puertos o zonas donde se dispone de urea.

4.3.5 Otras tecnologías.

Se ha propuesto también la eliminación de NO_x en los gases de escape mediante la inyección de ozono (O₃) en el flujo de salida. Esto produce una reacción química en la que se obtienen moléculas de nitrógeno y oxígeno como resultado. Para ello, es necesario llevar a bordo un generador de ozono,

que es un equipo que consume cantidades importantes de energía eléctrica. Por ello, aunque el sistema es en teoría eficaz, los resultados económicos no son por ahora favorables.

Existen otros sistemas de reducción de NO_x, como los catalizadores “externos” basados en metales pesados añadidos al combustible, las “trampas para NO_x” y los “filtros catalíticos” que son poco aplicables a buques por ser muy sensibles al contenido de azufre del combustible.

4.4 Impacto económico.

4.4.1 Normativa actual.

La reducción de emisiones de NO_x hasta los niveles actualmente dictados por las normas de la OMI y/o la UE es prácticamente despreciable. En efecto, las normas solamente se aplican a buques de nueva construcción y los motores actuales ya cumplen

con las normas sin mayores costes gracias a la optimización de los parámetros de diseño. Por tanto, no hay en la práctica ningún sobrecoste.

Ahora bien, la UE está estudiando medidas adicionales similares a las que también está considerando EE.UU. y que pudieran exigir a partir de 2010 unos límites de emisiones mucho más bajos que los actuales. En ese caso, es probable que no se pudiesen conseguir las emisiones exigidas más que utilizando los procedimientos indirectos como los convertidores catalíticos.

4.4.2 Para reducciones del orden del 50%.

Los métodos técnicos arriba indicados ofrecen reducciones de emisiones del orden del 50% sin penalizar el consumo de combustible y sin requerir consumibles adicionales. Solamente requieren instalar unos sistemas de inyección o emulsificación de agua en paralelo con el sistema normal de inyección de combustible. Estas instalaciones implican obviamente un coste inicial superior, y probablemente un coste de mantenimiento superior.

No obstante, hay que considerar que los costes de capital derivados del coste inicial del buque suponen –en promedio– menos de la mitad de los costes operativos totales. De ellos, el coste de la maquinaria propulsora supone menos del 20% del coste del buque y la modificación del sistema de inyección no puede llegar al 5% del coste total de la maquinaria, ni por tanto del orden del 1% del coste total del buque, con un impacto menor del 0,5% sobre los costes operativos, como mucho.

Lo mismo ocurre con los costes de mantenimiento, que típicamente suponen 2-3% del coste operativo. Un incremento de coste de mantenimiento de uno de los sistemas a bordo, de entre muchos, no puede tener un impacto significativo en los costes operativos totales.

En resumen, con bastante margen de seguridad puede afirmarse que el coste de reducir a la mitad las emisiones actuales de NO_x desde buques es inferior al 0,5% del coste operativo.

4.4.3 Para reducciones superiores al 80%.

Para reducciones superiores es necesario instalar un convertidor catalítico, que a su coste inicial no despreciable añade el consumo urea. Aunque puede haber diferencias sustanciales según el tipo de buque y su perfil operativo, los cálculos siguientes permiten estimar de forma aproximada el impacto económico de una reducción de emisiones que requiera instalas convertidor catalítico.

El coste inicial del convertidor catalítico y el aumento de tamaño de la cámara de máquinas puede suponer un 20% del coste total de la maquinaria, es decir del orden del 4% del coste del buque, con una repercusión del 2% sobre los costes operativos.

En cuanto a la urea, el consumo típico es de 15g/kWh en solución acuosa al 40% de urea, es decir 6g/kWh de urea. El precio de la urea es aproximadamente de 0,8US\$/kg, por lo que el coste del consumo de urea es del orden de:

$$0,006 \times 0,8 = 0,005 \text{ US\$/kWh}$$

Suponiendo los precios actuales del combustible para buques (HFO a US\$300/ton) y un consumo de combustible típico de unos 170g/kWh, el coste de combustible supone:

$$0,170 \times 0,3 = 0,051 \text{ US\$/kWh}$$

Por tanto, la urea cuesta aproximadamente un 10% del coste del combustible empleado. Como en un buque medio el coste de combustible puede ser un 30% del coste operativo total, el coste de la urea puede incrementar este coste en un 3%.

En consecuencia, para conseguir una reducción de emisiones de NO_x del 80% o superior, el impacto final sobre los costes operativos de los buques puede estar alrededor del 5%, cifra no despreciable que solo se justifica si existe una demanda social muy específica.

4.5 Perspectivas.

Las sociedades desarrolladas demandan cada vez una mayor protección del medio ambiente. Por ello, es previsible que la normativa sobre emisiones de NO_x se vaya endureciendo a medio y largo plazo.

Las cifras de emisiones en Europa –reflejadas al principio de esta sección- indican que el grueso de las emisiones procede de buques que operan entre puertos de la UE o buques que tienen puertos de la UE como origen o destino en tráficos con otras zonas del mundo. Por ello, la UE tiene una considerable capacidad para intervenir por vía legislativa. Como consecuencia es altamente probable que en los próximos lustros se vayan adoptando normativas europeas progresivamente más estrictas y que afecten no sólo a los buques abanderados en países de la UE, sino a todos los que operen en puertos de la UE.

El régimen ideal sería uno que se aplicase internacionalmente de forma uniforme, adoptado a través de la OMI, pero de no mediar fuertes presiones de la UE y EE.UU. es improbable que una mayoría de miembros de la OMI consideren justificada una intervención con un impacto tan grande sobre los costes operativos. Por tanto, es probable que la OMI vaya evolucionando a remolque de los países desarrollados y que la UE sea una de las puntas de lanza de la adopción de límites de emisión progresivamente decrecientes.

En el aspecto tecnológico, es de resaltar que una década de investigaciones ha dado como resultado alcanzar reducciones de emisiones de hasta el 50% con motores que difieren muy poco de los convencionales y con inversiones y costes muy moderados.

Si se apoyan debidamente las investigaciones sobre este tema, es muy probable que en las próximas dos décadas se puedan poner a punto métodos de reducción de emisiones de NO_x aún más eficaces e igualmente competitivos. Así se podrían alcanzar reducciones de emisiones superiores al 75% sin incrementos sustanciales de los costes operativos de los buques.

Capítulo 5. Emisiones de partículas primarias en suspensión.

5.1 Situación actual del problema.

Existen pruebas evidentes de que las minúsculas partículas en suspensión que existen en la atmósfera, medidas en micrones o, incluso, en nanómetros, ejercen efectos nocivos sobre la salud humana, ya que, a partir de ciertas concentraciones, pueden producir enfermedades como el cáncer la tuberculosis pulmonar, la silicosis y agravar otras como el asma, que pueden provocar muertes prematuras, y, en general, reducen la calidad de vida de las poblaciones que las sufren.

Estas partículas pueden ser producidas bien por medios naturales, provenientes del polvo de los caminos, o de la tierra de los sembrados, movidos por el viento, o bien por la acción del hombre. Las que nos ocupan en este documento son las llamadas **partículas primarias**, que son las liberadas a la atmósfera principalmente en los procesos de combustión, tanto en instalaciones fijas como en fuentes móviles, en los procesos extractivos, en los de de manipulación de áridos y en los de tratamiento de superficies metálicas (granallado). Pero también existen otra clase de partículas que pueden depositarse en la atmósfera a partir de procesos químicos en los que intervienen otros agentes contaminantes, como los compuestos orgánicos volátiles NO_x , los SO_x y el NH_3 , y que son las llamadas **partículas secundarias**. Dado que son muchas las fuentes generadoras de partículas, unido a que se pueden producir concentraciones de partículas secundarias a gran distancia de las fuentes que las generan, estas constituyen un grave problema transfronterizo, vinculado a los problemas de acidificación, eutrofización y formación de ozono troposférico.

Según el Informe **5/2001 de la Agencia para la protección del Medio Ambiente**, las partículas primarias contribuyen en un 11% a la contaminación atmosférica, frente a un 52% de los NO_x y un 24% del SO_2 .

Como hemos dicho, en ciertos procesos industriales, especialmente en los que intervienen procesos de combustión, extractivos, metal-mecánicos, etc. se producen una cierta cantidad de partículas de distinto tamaño y peso. Las partículas más grandes y pesadas caen en un espacio corto de tiempo al suelo cerca del foco emisor, pero las partículas más pequeñas, por debajo de los 2,5 micrómetros (**PM2.5**), permanecen más tiempo en el aire y se desplazan por él hasta largas distancias, entre 150 y 550 Km. Dado que se sabía que las partículas con un diámetro menor de 10 micrones podían penetrar en los pulmones, los objetivos de calidad de aire se habían basado hasta ahora en la concentración de partículas de este tamaño, pero investigaciones recientes parecen apuntar a que son las partículas más finas, de diámetros inferiores a 2,5 micrones, (**PM 2,5**), las que pueden resultar más nocivas para la salud humana, ya que pueden penetrar más profundamente en las vías respiratorias y, al estar compuestas por elementos más tóxicos que las PM10, especialmente metales pesados., pueden producir enfermedades más graves. Al ser atrapadas por células especiales en los pulmones, no pueden ser expulsadas con las mucosidades, terminando el proceso en enfisema o cáncer pulmonar. Por todo ello se hace muy complejo, en estos momentos, determinar indicadores apropiados para el control de la emisión de partículas.

En el informe de Junio de 2005 de **Alpheis (Sistema Europeo de Información sobre Contaminación y Salud)**, se estimaba, a partir de un muestreo en 26 ciudades de 12 países de la Unión Europea, que 11.375 muertes prematuras, incluyendo 8.053 por

causas cardiovasculares y 1.296 por cáncer de pulmón, podrían evitarse anualmente si la exposición a largo plazo de la media anual de los niveles de PM_{2,5} se redujese en cada ciudad a 20 $\mu\text{m}/\text{m}^3$, y si la reducción fuera hasta 15 $\mu\text{m}/\text{m}^3$, se evitarían 16.926 muertes prematuras. Alpheis comprobó que mientras en la mayoría de las 26 ciudades estudiadas, se había bajado de los 40 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media anual que fija la legislación actual para el valor límite de los PM₁₀ antes de 2005, 21 ciudades todavía superaban el valor límite de 20 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ fijado para el 2010.

Desgraciadamente, éste no es el caso de varias ciudades españolas. Por ejemplo, en varias ciudades de la zona central de Asturias, de los últimos datos disponibles, referidos al 2010, varias estaciones de **Gijón, Oviedo y Sama** superaban los 40 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ de media anual y, en el caso de Sama, se llegaban a los 66,5 $\mu\text{m}/\text{m}^3$.

Hay que hacer notar que, aún hoy, uno de los principales motivos de preocupación con respecto a las partículas en suspensión, es que no parece existir un umbral de concentración por debajo del cual no existan efectos sobre la salud humana y sobre el ambiente. A ello se añade el que no se conoce aún el proceso exacto que ocasiona dichos efectos nocivos.

Por lo que respecta al **Sector Naval**, el problema que presenta la emisión de partículas puede considerarse también de mucho menor envergadura que el derivado de las emisiones de SO_x y NO_x, al ser relativamente fácil su eliminación o reducción en el tráfico marítimo. El problema se presenta más complejo en los astilleros de nuevas construcciones y muy especialmente, en los de reparación de buques.

En el estudio “**Cuantificación de las emisiones de los buques ligadas a la circulación entre puertos de la Comunidad Europea**”, elaborado por la consultora británica **ENTEC** para la UE, las emisiones de partículas primarias desde buques en puerto fueron en el año 2000 de 21 mil toneladas frente a unas emisiones de 3,6 millones de toneladas de NO_x, 2,5 millones de toneladas de SO₂ y 157,2 millones de toneladas de CO₂ en las aguas de la UE. El panorama previsto para 2010 es de unas emisiones, (en puerto) de 24 mil toneladas para las partículas primarias, de 4,6 millones de toneladas para los NO_x, 3,3 millones de toneladas para el SO₂ y 200,1 millones de toneladas para el CO₂.

Generalmente, los astilleros son industrias relativamente limpias, ambientalmente hablando, en los que la mayor parte de los impactos medioambientales generados por su actividad se resuelven con una buena gestión ambiental integrada en la gestión general de la empresa, y orientada principalmente a sus residuos y vertidos. No ocurre así, sin embargo, con los impactos generados en los procesos de tratamientos de superficies, chorreado con áridos y pintado, y que afectan especialmente a la calidad del aire por las emisiones de partículas y compuestos volátiles. Las soluciones para eliminar estos impactos atmosféricos son muy, al día de hoy, generalmente muy caras, y, en el caso del chorreado, y debido de la gran cantidad de residuos generados, demandan además vertederos de gran capacidad que no son siempre posibles de habilitar. Por todo ello, se está realizando una gran labor de investigación para encontrar otros procedimientos alternativos de preparación de superficies, pero que, hasta ahora, adolecen de lentitud, de alcanzar menores rugosidades en las superficies tratadas y, por tanto, menores anclajes de las pinturas, de mayores costes de adquisición y operación, de requerir operaciones complementarias, etc. De todas maneras la búsqueda

de mejores técnicas alternativas continúa con el acicate de que en muchos países de nuestro entorno el chorreado con áridos ha sido prohibido por ley.

En el caso de los VOCs, la investigación se centra en la búsqueda de nuevas pinturas de menores emisiones, pero que sigan siendo de fácil y rápida aplicación, que no exijan un excesivo anclaje (anchor pattern) y que no ofrezcan mucho menor tiempo de protección que las actuales.

5.2 Normativa aplicable.

Es en los años 70, y como consecuencia de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Urbano, celebrada en Estocolmo en 1972, se empieza a generalizar la promulgación de normas medioambientales, y, entre ellas, las relativas a la calidad del aire. Hay que destacar que España ha sido pionera en su tiempo, junto con Nueva Zelanda y Holanda, en legislar sobre la contaminación atmosférica con la **Ley 38/1972 de 22 de Diciembre a la Protección del Medio Ambiente Atmosférico**.

Se trata de una norma básica, de tipo general, en la que se contienen las normas estatales sobre la calidad del aire basadas en la **inmisión**, (concentración de contaminantes en la atmósfera a nivel del suelo de modo temporal o permanente), y sobre normas sectoriales referidas a la **emisiones** de contaminantes a la atmósfera, tanto de las lanzadas desde focos determinados, como las resultantes de reacciones fotoquímicas o de cadenas de reacciones iniciadas por procesos fotoquímicos.

Esta Ley fue desarrollada mediante el Real Decreto 833/1975 de 6 de Febrero, completado a su vez por la **Orden de 18 de Octubre de 1978 sobre Prevención y Corrección de la Contaminación Atmosférica Industrial**. En el R.D. 833/1975 se regulan los niveles de inmisión o normas de calidad de aire de forma muy detallada en su Anexo I, mientras que los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera de las principales actividades industriales potencialmente contaminantes se contemplan en sus Títulos V y VI. Sólo se fijaban valores límite de referencia y de emergencia de inmisión para los que se denominan como contaminantes principales, es decir para el SO₂, CO, NO_x, partículas y humos.

Sin embargo, el Real Decreto 833/1975 ha tenido que ser repetidamente modificado para adaptarlo tanto a las exigencias de armonización de la normativa de la Unión Europea, como a la de los algunos convenios internacionales, en concreto al **Convenio de Ginebra sobre Contaminación Transfronteriza a larga distancia**, ratificado por España en 1983.

Además de las circunstancias anteriormente citadas, el R.D. 833/1975 y la O.M. de 18 de Octubre de 1978 se han visto afectados por la nueva distribución territorial de competencias a causa del desarrollo del Estado de las Autonomías de la Constitución de 1978, que hace recaer la responsabilidad medioambiental en las Comunidades Autónomas, por lo que muchas de ellas ya disponen de su propia legislación sobre la calidad del aire para su territorio, bien por medio de una legislación específica, bien englobada dentro de un ley general de protección del Medio Ambiente.

Refiriéndonos exclusivamente a la legislación española de ámbito estatal, las normas de calidad del aire, o inmisión, en lo referente a la contaminación por partículas, están actualmente reguladas por el **Real Decreto 1073/2002 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de**

nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono, que armoniza la legislación española con las **Directivas 1999/30/CE del Consejo de 22 de Abril de 1999, y 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de Noviembre de 2000.**

De acuerdo con este **Real Decreto 1073/2002**, los valores límites para las partículas en suspensión son:

Valores límite para las partículas (PM₁₀) en condiciones ambientales para la protección de la salud humana.

	Período de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
Fase I				
1. Valor límite diario	24 horas	50 µg/m ³ de PM ₁₀ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año	15 µg/m ³ , a la entrada en vigor del presente real decreto, reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 5 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005.	1 de enero de 2005
2. Valor límite anual	1 año civil	40 µg/m ³ de PM ₁₀	4,8 µg/m ³ , a la entrada en vigor del presente real Decreto, reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 1,6 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005.	1 de enero de 2005
Fase II				
1. Valor límite diario	24 horas	50 µg/m ³ de PM ₁₀ que no podrán superarse en más de 7 ocasiones por año.	20 µg/m ³ Se derivará de los datos y será equivalente al valor límite de la fase 1.	1 de enero de 2010
2. Valor límite anual	1 año civil	20 µg/m ³ de PM ₁₀	20 µg/m ³ el 1 de enero de 2005, reduciendo el 1 de enero de 2006 y posteriormente cada 12 meses 4 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010.	1 de enero 2010.

Los valores límites indicados para la Fase.II, podrán ser revisados de acuerdo con la resultados obtenidos sobre los impactos en el medio ambiente y la mayor información que se tenga sobre los efectos en la salud humana, teniendo presente para esta revisión la viabilidad técnica y la experiencia en la aplicación de los valores límite de la Fase I dentro de la Unión Europea

Aunque, y hasta el momento, no afecta al sector naval, es conveniente mencionar por su enorme transcendencia en el conjunto del sector industrial, la **Ley 16/2002 de 1 de Julio de Prevención y Control Integrados de la Contaminación**, que es el resultado de la armonización con el ordenamiento Jurídico español de la **Directiva 96/61/CE**, comúnmente conocida como **Directiva IPPC**.

Con esta ambiciosa normativa la UE pretende poner en marcha el principio de prevención en las instalaciones industriales que se consideren más contaminantes, estableciendo medidas que afectan a sus emisiones a la atmósfera, vertidos, protección del suelo y gestión de los residuos generados, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente considerado en su conjunto. Uno de los puntos más novedosos de la norma es que tanto la puesta en marcha, como el funcionamiento, de las instalaciones contempladas en la ley estarán supeditadas a la obtención de una autorización administrativa por escrito que debe sustituir al conjunto disperso de autorizaciones de carácter ambiental que eran exigibles antes de la promulgación de esta ley, en la que se fijarán las condiciones ambientales que se exigirán para la operación de las instalaciones y, entre ellas, la aceptación de los valores límites de emisión de sustancias contaminantes, basadas en las mejores técnicas disponibles, tomando,

además, en consideración aspectos tales como las características técnicas de la instalación, su situación geográfica y las características medioambientales de su zona de influencia.

5.3 Situación técnica del problema.

Por lo que se refiere al Sector Naval, y como ya hemos adelantado, el principal problema con respecto a la emisión de partículas primarias está en los procesos de tratamiento de las superficies de acero de los buques en los astilleros.

Sin duda ninguna, la mejor tecnología disponible actualmente para asegurar una buena y duradera protección del acero de los cascos y de los tanques o bodegas de los buques es la del chorreado por medio de aire a presión con un abrasivo, generalmente granalla de acero, mineral de cobre, escorias o arena, hasta conseguir estándares de acabados de SA 2 1/2 (“metal blanco”), y posterior pintado con pinturas especiales que necesitan de altos porcentajes de disolventes orgánicos, (hasta del 80%, aunque lo normal sea del 60%), para facilitar su aplicación. Se puede conseguir así un ciclo de mantenimiento sin reposición de hasta cinco años.

Pero los impactos medioambientales que producen estos procedimientos, especialmente en la atmósfera con las inmisiones de partículas y de VOCs, son generalmente graves, y sobrepasan a menudo los límites establecidos en la normativa ambiental que, además, y como hemos visto, es cada vez más estricta. Además, el consumo de energía es muy alto y produce contaminación acústica. Ante esta situación, desde la década de los 90, viendo que el procedimiento de “chorro libre de áridos” empleado en aquella época en todos los astilleros del mundo, estaba perdiendo la batalla medioambiental, se ha intentado encontrar procedimientos alternativos que concilien los intereses económicos con los de reducir a límites admisibles los impactos ambientales

Centrándonos en la inmisión de partículas, la mayoría de las soluciones alternativas al chorreado con áridos convencional, tratan de eliminar los áridos como abrasivos, sustituyéndolos por agua a alta presión con o sin granalla o el hielo seco (CO₂). En el desaparecido Grupo Astilleros Españoles, el gasto declarado de granalla en sus astilleros era de unas 60.000 tm/año, lo que producía una enorme dificultad en la gestión de los residuos generados, ya que, en la mayoría de las zonas geográficas en que se localizaban los astilleros, no existían vertederos de inertes capaces de absorber la enorme cantidad de residuos generados. A todo ello se une la incertidumbre sobre la caracterización de estos residuos, puesto que, dependiendo de algunos tipos de pintura a eliminar, el residuo puede ser considerado como peligroso en lugar de inerte, con lo que el gasto de gestión puede multiplicarse por diez.

Los impactos producidos por el chorreado con áridos pueden disminuirse hasta alcanzar límites aceptables, aunque con fuertes inversiones, en los astilleros de nuevas construcciones mediante la construcción de cabinas de chorreado y pintado de bloques, dotadas de potentes filtros en la exhaustación para la renovación del aire, y procurando la reutilización de las granallas o áridos empleados, así como la utilización de equipos en circuito cerrado para las operaciones de repaso en grada/dique.

En los astilleros de reparaciones la solución equivalente sería el confinar los buques dentro de estructuras herméticas desmontables para adaptarlas a los varios tamaños de buques a tratar. Este sistema, a pesar del coste prohibitivo de la inversión, ha sido instalado en los astilleros norteamericanos Metro Machine Co. de reparaciones milita-

res, situado en Norfolk, Virginia, en los que los buques son confinados durante los procesos de chorreado con áridos y pintado por medio de un sofisticado sistema que asegure la mayor estanqueidad posible (**Sistema CAPE**). El aire interior es recirculado a través de filtros de partículas, quemadores de VOCs, deshumificadores y calentadores, con lo que, además de solucionar los problemas medioambientales, se eliminan las condiciones meteorológicas adversas para una buena aplicación de las pinturas. Como hemos apuntado el coste de la inversión es excesiva (del orden de 12 millones de euros para buques de hasta 120 m. de eslora), no resuelve el problema de la gestión de los residuos, y disminuye la manga útil de los diques.

Entre las variadas alternativas más “limpias” que se vienen usando o probando, citaremos:

5.3.1 Chorreado con agua a alta presión.

Se ha venido usando desde hace tiempo en astilleros de reparaciones de Alemania y el Reino Unido. Se emplean generalmente equipos autónomos. El más común dispone de un motor diesel, de aprox. 75 kw, y dos mangueras, que lanzan contra el casco agua dulce a presiones que van desde 700 hasta 1.450 bares a través de toberas rotatorias, con un caudal de 15 l/min. Existen equipos especiales, con un coste altísimo, que pueden alcanzar los 2.800 bares en los que el proceso está automatizado

Este sistema parece generar problemas, tanto ambientales como técnicos:

1. Tiene un rendimiento medio de 10 a 20 m²/hora, lo que puede ser bajo o suficiente para este tipo de trabajos, dependiendo de la fuente consultada.
2. Tiene un coste de inversión alto, y, aunque elimina los residuos sólidos, genera un problema grave de gestión de vertidos, exigiendo plantas de filtrado y tratamiento del agua empleada antes de su vertido al mar, o, especialmente, en ríos y dársenas.
3. No produce el grado de rugosidad, (anchor pattern), que exigen la mayoría de las pinturas de alto rendimiento especificadas normalmente para casco, cubiertas, tanques y bodegas.
4. Las superficies tratadas quedan húmedas, lo que dificulta y atrasa el proceso de pintado, a menos que se instalen equipos de secado.
5. Por lo que respecta a España, el gran caudal de agua dulce exigido no estaría siempre disponible, o estuviese prohibido en ciertas zonas su uso para estos menesteres.
6. Existen riesgos de accidentes laborales a causa de la alta presión del chorro de agua.

Este sistema tiene una serie de variantes, como el chorreado con mezcla de agua y arena, que elimina el polvo pero crea problemas de residuos y vertidos; el chorreado con hielo carbónico, etc.

5.3.2 Equipos de chorreado con granalla sin producción de polvo.

Se empezó a emplear en algunos astilleros holandeses y del sudeste asiático hace varios años. Se emplea también en tratamientos de grandes depósitos, especialmente en refinerías.

Son equipos en las que, por medio de ventiladores, se crea un flujo de aire procedente de la zona de trabajo que se hace pasar por un filtro, y un separador de polvos, que pasan a un colector, mientras el aire limpio vuelve a salir al exterior.

Estos equipos usan granalla metálica, que puede ser reciclada hasta 6 veces. Existen unas series amplias de modelos de equipos, desde pequeñas máquinas para “repa-sos”, con un rendimiento de 10 m²/hora, hasta modelos con un rendimiento de 60 m²/hora.

Frente a sus ventajas de no lanzar partículas a la atmósfera y reducir notablemente el consumo de granalla, (puede llegar a ser de 250 g/m², frente a los 40 kg/m² del chorro libre), presenta los siguientes inconvenientes:

1. Son de difícil operación y tienen un menor rendimiento en las partes finas del buque. En algunos astilleros se usa un procedimiento mixto de equipos sin polvo en las partes planas y chorro de agua en las partes finas.
2. Necesitan muchos medios de elevación auxiliares, (uno por máquina).

Se han intentado otros procedimientos, más o menos ingeniosos que, por lo que respecta al sector naval, no han sido empleados, bien por su complejidad, su coste, o por no resolver todos los tipos de impactos ambientales que se producen en este tipo de trabajos. Podemos citar el chorreo con granalla de acero revestida de espuma de uretano granular, para eliminar el polvo que sería absorbido por la espuma, y el uso de abrasivos plásticos o de origen vegetal (huesos de frutas).

5.4 Conclusión.

Ninguna actividad industrial puede ignorar el factor ambiental en sus esquemas de gestión, de manera que debe realizar todos los cambios de métodos de trabajo y realizar las inversiones necesarias que el respeto al entorno demanda, y que, por otro lado, las presiones legal y social también lo exigen.

La preservación y mejora de la calidad del aire es uno de los aspectos a considerar dentro de este concepto de gestión sostenible, y, por tanto, el sector naval debe buscar soluciones a sus procesos en conflicto con la preservación del ambiente atmosférico, encontrando soluciones de concilien economía, desarrollo social y respeto al entorno, es decir practicando una gestión sostenible.

Capítulo 6. Emisión de halones y de compuestos clorofluorcarbonados (CFCs).

6.1 Situación actual.

6.1.1 CFCs y halones: introducción, conceptos básicos.

Unos y otros constituyen un grupo de sustancias que han resultado ser una de las causas más importantes de la destrucción de la capa de ozono de la atmósfera, como más abajo se explica.

Los **compuestos clorofluorcarbonados (CFCs)** son compuestos orgánicos cuya molécula contiene átomos de carbono, cloro y flúor. Tienen la propiedad de poder ser utilizados como fluidos refrigerantes muy efectivos y han sido desarrollados como respuesta a la apremiante necesidad de eliminar sustancias tóxicas tales como el dióxido de azufre, el amoníaco y otras sustancias inflamables, que se utilizaron con profusión en la primera mitad del siglo XX en las unidades de refrigeración y de aire acondicionado. Los CFCs más comunes, utilizados comercialmente bajo el nombre de **Freon**, eran el triclorofluor metano (CFC-11) y el diclorodifluor metano (CFC-12).

Los CFCs comercialmente empleados son ininflamables, no corrosivos, no tóxicos e inodoros. Por su presión de vapor y sus calores latentes de vaporización resultan muy adecuados para su aplicación como fluidos refrigerantes. También se han utilizado extensamente en todo el mundo, desde mediados de pasado siglo, como impulsores de aerosoles, como disolventes, como agentes de limpieza para componentes eléctricos y electrónicos y como agentes espumantes.

A mediados de la década de 1970, los CFCs fueron identificados como la mayor causa del agotamiento del ozono en la parte superior de la atmósfera. Andando el tiempo, esto fue más tarde confirmado merced a las observaciones realizadas con satélites artificiales.

Cuando los CFCs son liberados a la atmósfera, pese a ser más pesados que el aire, son arrastrados por las corrientes de **éste** a alturas que varían de 25 a 40 km. **Allí, los CFCs se disocian por la acción de las radiaciones ultravioleta generando átomos libres de cloro que interaccionan con el ozono (O₃) produciendo oxígeno (O₂) y se regeneran de nuevo.**

El átomo de cloro libre regenerado continúa rompiendo otras moléculas de ozono y el proceso continúa durante toda la vida del átomo de cloro en la atmósfera, que es de uno a dos años, y durante la cual destruye una media de unas 100.000 moléculas de ozono. Los radicales de cloro desaparecen finalmente de la estratosfera después de haber formado dos compuestos que son relativamente resistentes a la disociación debida a los rayos ultravioleta: cloruro de hidrógeno, o ácido clorhídrico, y cloro nitrato. Estos compuestos se disocian con suficiente lentitud de forma que tienen tiempo de ir difundiendo hacia la troposfera, más abajo, donde reaccionan con vapor de agua y son así eliminados con la lluvia.

Los radicales de bromo reaccionan como los radicales de cloro destruyendo el ozono de la estratosfera y a veces reaccionan de forma concertada con los de cloro. El bromo es mucho más destructivo que el cloro a causa de que los compuestos formados al

final, bromuro de hidrógeno y bromo nitrato, son mucho más susceptibles a la disociación debido a los rayos ultravioleta y, por lo tanto, son destruidas muchas más moléculas de ozono antes de que las moléculas de bromuro de hidrógeno y de bromo nitrato tengan tiempo para difundirse en las zonas inferiores de la atmósfera.

En el caso de los radicales de flúor, estos se combinan similarmente, formando fluoruro de hidrógeno y otros compuestos estables, que no afectan a la capa de ozono.

El ozono es vital para la supervivencia de las personas y de los animales ya que es el responsable de la absorción de la radiación ultravioleta procedente del Sol. Sin esta protección, la penetración de dicha radiación provocaría ceguera y cáncer de piel. A fin de evitar este problema, se alcanzó en un acuerdo internacional en 1987, el **Protocolo de Montreal**, el objetivo de reducir la utilización de CFCs hasta un 50% antes del año 2000 y, en 1992, una enmienda a este tratado pidió el cese de la producción de CFCs en los países industrializados para finales de 1996. Como resultado, a finales de 1993, las emisiones de CFCs habían descendido notablemente.

Los **halones** son compuestos orgánicos similares a los CFCs. Sus moléculas contienen carbono, flúor y bromo, y pueden contener también cloro. Estos compuestos se utilizaban fundamentalmente como agentes de impulsión en los extintores contra incendios. Debido a contener bromo, son aún más destructivos para el ozono que los CFCs y su uso fue retirado en 1994 por una enmienda al Protocolo de Montreal.

Los denominados **hidroclorofluorcarbonados (HCFCs)** son compuestos orgánicos similares a los CFCs pero menos destructivos del ozono. Los HCFCs están formados por carbono, hidrógeno, cloro y flúor. Son usados como sustitutivos de los CFCs pero, a su vez, han de ser sustituidos progresivamente antes del año 2020 tal como especifica el Protocolo de Montreal, año en el que se espera que hayan ya sido reemplazados por **hidrofluorcarbonados (HFCs)**. Estos últimos son compuestos orgánicos cuya molécula contiene hidrógeno, carbono, y flúor. Los HFCs, al no contener cloro, no tienen potencia para la destrucción del ozono, constituyendo por ello unos sustitutivos adecuados para los CFCs.

6.1.2 Empleo de halones y CFCs en los buques. Estimación de las emisiones.

En los buques, los CFCs se estaban ampliamente utilizando como fluidos refrigerantes en los procesos de producción de frío para refrigeración y mantenimiento del frío de la carga de las bodegas y tanques y, en su caso, de los contenedores; así como para congelación de la carga, como sucede en los buques pesqueros congeladores; para el aire acondicionado de los espacios de habilitación de la tripulación y otros locales y, en su caso, espacios para el pasaje; así como para la congelación, refrigeración y conservación de alimentos en la gambuza.

Los halones, compuestos derivados de los CFCs, se estaban utilizando como medios eficaces de extinción de incendios, ya fuera mediante extintores portátiles o por medio de sistemas de extinción fijos.

Las emisiones de CFCs de toda la flota mundial habían sido calculadas ser del orden de 3000 a 6000 toneladas por año, equivalentes a aproximadamente 1 a 3% de las emisiones totales en el mundo. Sin embargo, las emisiones de halones de los buques se estimaban en unas 300 a 400 toneladas por año, lo cual significaba del orden del 10% del total mundial.

6.1.3 Los halones y CFCs y el problema del agotamiento de la capa de ozono.

Los agentes extintores halogenados son más conocidos con el nombre de "Halones". Este nombre se deriva del inglés (halogenated hidrocarbon) y, para distinguirlos entre sí, se les designa con un número de tres o cuatro cifras. La primera significa la cantidad de átomos de carbono, la segunda la cantidad de átomos de flúor, la tercera los de cloro y la cuarta los de bromo, en la molécula; siendo así los más conocidos por esta codificación, ya que su denominación química los hace difíciles de pronunciar, los siguientes:

NOMBRE QUÍMICO	FORMULA	NOMBRE COMERCIAL
Tetracloruro de carbono	CCl_4	HALON 104
Bromuro de metilo	CH_3Br	HALON 1001
Clorobromometano	$CH_2 ClBr$	HALON 1011
Difluorclorobromometano	$CF_2 ClBr$	HALON 1211
Trifluorbromometano	$CF_3 Br$	HALON 1301

Fuente: www.bomberosdeNavarra.com

El halón más antiguo es el tetracloruro de carbono (Halón 104) que nació en 1908 y fue utilizado especialmente como extintor portátil, porque carecía de conductividad eléctrica y no dejaba residuos después de su aplicación. Sin embargo, en contacto con la llama producía fosgeno (un gas muy venenoso).

El **Halón 1001** (bromuro de metilo) apareció hacia 1920 y su eficacia extintora era superior a la del halón 104. Lo utilizaron de forma profusa las Fuerzas Armadas Alemanas y Británicas durante la segunda guerra mundial pero, debido a su elevada toxicidad, nunca se utilizó en extintores portátiles.

Tampoco el siguiente paso en el desarrollo de los halones, el **Halón 1011**, cumplía con las exigencias mínimas desde un punto de vista de salubridad. Se descubrió en Alemania en 1940 y fue el sustituto del halón 1001, pero su uso no se generalizó hasta después de la Segunda Guerra Mundial.

En los años 60, el empleo de estos halones, que se utilizaban para la extinción de fuegos en aviones, cayó vertiginosamente por su elevada toxicidad pero, paralelamente, se estaban ensayando otros halones fluorados a los que el flúor les confería una gran estabilidad ante el fuego y una toxicidad baja.

De los ensayos realizados, el **Halón 1301** se mostró como uno de los más efectivos y menos tóxicos, siendo en un primer momento utilizado para la prevención del fuego en motores y aviones y, con posterioridad, se empezó a utilizar para proteger salas de computadoras, archivos de documentos de gran valor, vehículos a motor, motonaves, etc., en forma de instalaciones automáticas de extinción por inundación total. Otro de los halones descubiertos fue el **Halón 1211** que se adoptó para los sistemas de aviación militar y para extintores portátiles.

No obstante, en los años 70, después de exhaustivos ensayos sobre los efectos fisiológicos de los productos de descomposición de los **Halones 1211 y 1301**, se les reconoció como adecuados para la extinción, pero adoptando precauciones apropiadas, tales como retardadores de tiempos de disparo de los sistemas de inundación total. Hasta tal punto llegó su uso en España, que el entonces **IRANOR** (Instituto de Racio-

nalización y Normalización) elaboró en 1983 la **Norma UNE 23607** diseñada para crear las especificaciones de los hidrocarburos halogenados como agentes de extinción de incendios.

Sin embargo, y aunque parecía ser la panacea para las instalaciones automáticas de extinción con agentes gaseosos, empezó a ser cuestionado su uso y producción por las negativas conclusiones a las que, sobre su impacto ambiental en la atmósfera, llegó el **Comité Coordinador de la Capa de Ozono de Naciones Unidas**. Así comenzó la larga carrera para la eliminación de todos estos productos, fijándose cuatro parámetros que los agentes gaseosos deberían cumplir en el futuro:

NOAEL: es la concentración más elevada a la que no se observan efectos fisiológicos o tóxicos adversos.

LOAEL: es la concentración más baja a la que se observan efectos fisiológicos o tóxicos adversos.

ODP: es la capacidad que tiene un gas para destruir la capa de ozono.

GWP: es la capacidad de aumentar el efecto invernadero de calentamiento de la Tierra.



Foto: bomberosdenavarra.com

Los gases del grupo de clorofluorcarbonados, CFCs, llegan hasta la estratosfera debido a que la atmósfera de la tierra está siempre en movimiento y mezcla las sustancias químicas que se le añaden.

En realidad, las moléculas de los CFCs son varias veces más pesadas que el aire. No obstante, miles de mediciones de globos, aeronaves y satélites demuestran que los CFCs están realmente presentes en la estratosfera. Esto se debe a que los vientos y otros movimientos del aire agitan la atmósfera hasta altitudes por encima de la parte superior de la estratosfera con mucha más velocidad que aquella a la que las moléculas

las pudieran depositarse debido a su propio peso. Los gases tales como los CFCs, que no se disuelven en agua y que no suelen reaccionar con otros compuestos o elementos en la atmósfera inferior, se mezclan con relativa rapidez y, por consiguiente, llegan a la estratosfera sea cual fuere su peso.

Esto ocurre también con otros compuestos químicos. Las medidas de las modificaciones de las concentraciones de algunos de los componentes de la atmósfera en función de la altitud nos ilustran acerca del destino de algunos de los compuestos químicos presentes en la atmósfera. Por ejemplo, dos gases, el tetracloruro de carbono (producido principalmente como producto secundario de la fabricación de aluminio) y el CFC-11, o CCl_3F , (utilizado en una gran diversidad de actividades humanas) son ambos más pesados que el aire, y los encontramos también en capas altas de la estratosfera.

El **tetrafloruro de carbono (CF_4)** no reacciona de ninguna forma a altitudes por lo menos por encima de 50 kilómetros en la atmósfera. Las mediciones indican que está casi uniformemente distribuido por la atmósfera según se ilustra en la figura 3. Se han efectuado mediciones en los últimos dos decenios, encontrándose otros gases que tampoco reaccionaban de ningún modo, algunos más ligeros que el aire, o más pesados.

Mediciones atmosféricas de CFC-11 y de CF_4

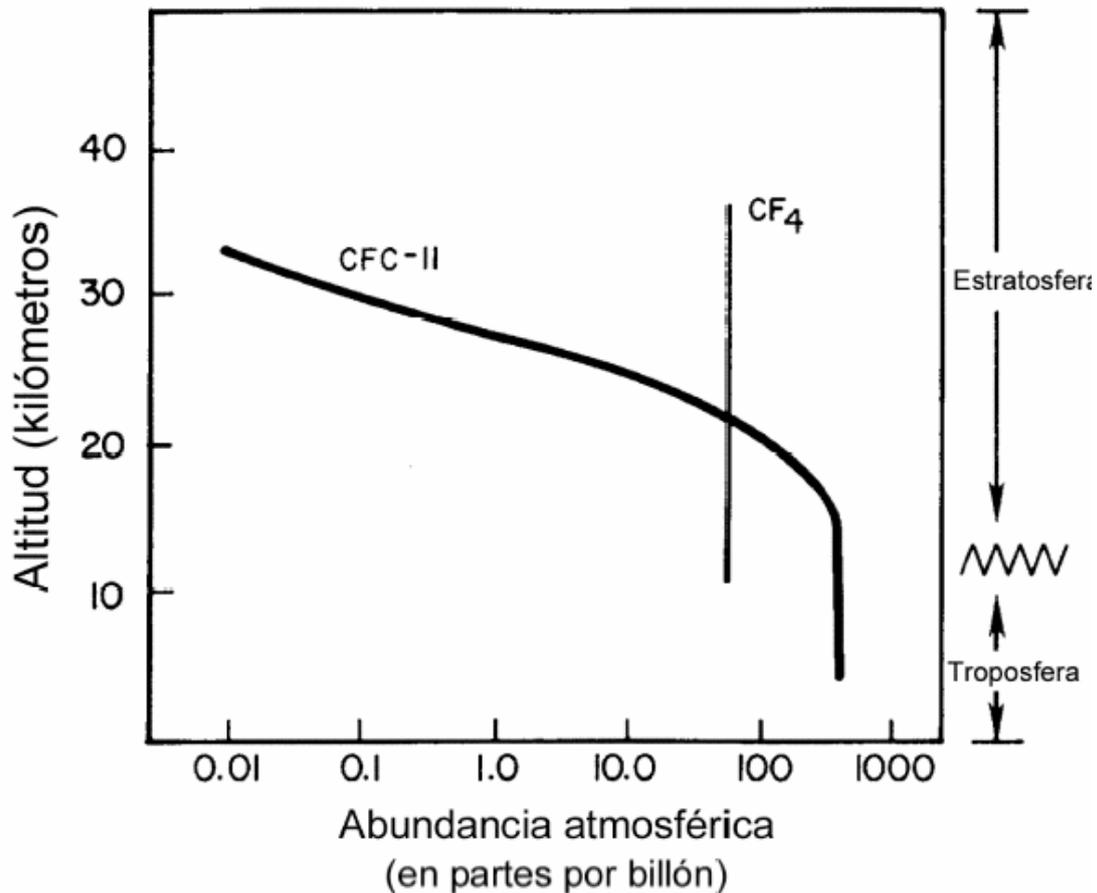


Foto: www.unep.ch/ozone/faq-science-sp.shtml

El **CFC-11** no reacciona en la atmósfera inferior y se distribuye uniformemente de modo análogo al gas anterior en esta zona, según se indica en la figura 3. Sin embargo, la abundancia de CFC-11 disminuye a medida que el gas llega a altitudes más elevadas puesto que se descompone por la acción de la radiación ultravioleta solar, de elevada energía. El cloro liberado por esta descomposición del CFC-11 y de otros CFCs, tal como se explicó anteriormente, permanece durante varios años en la estratosfera, destruyendo los átomos de cloro muchos miles de moléculas de ozono.

La atmósfera de la tierra está continuamente movida por los vientos. El resultado es que los gases que agotan la capa de ozono se mezclan y viajan por toda la atmósfera, incluida por la que cubre la Antártida, sea cual fuere el lugar en el que los gases fueron emitidos. Las condiciones meteorológicas especiales de la Antártida hacen que estos gases sean más eficaces en ese lugar que en otras partes, en cuanto a agotar la capa de ozono.

Las emisiones debidas a actividades humanas de clorofluorocarbonos (CFCs) y de halones (gases que contienen bromo) han ocurrido principalmente en el Hemisferio Norte. Aproximadamente se han liberado el 90% en las latitudes que corresponden a Europa, Rusia, Japón y América del Norte. Los gases tales como los CFCs y halones, que son insolubles en agua y que no reaccionan fácilmente, se mezclan en un plazo de un año o dos por toda la atmósfera inferior. Los CFCs y los halones, bien mezclados en esta zona, suben desde la atmósfera inferior hacia la estratosfera, principalmente en las latitudes tropicales. Los vientos impulsan esta masa de aire desde los trópicos hacia los polos, tanto hacia el Polo Norte como hacia el Polo Sur, de forma que el aire de toda estratosfera del globo contiene aproximadamente las mismas cantidades de cloro y de bromo a través del globo terráqueo.

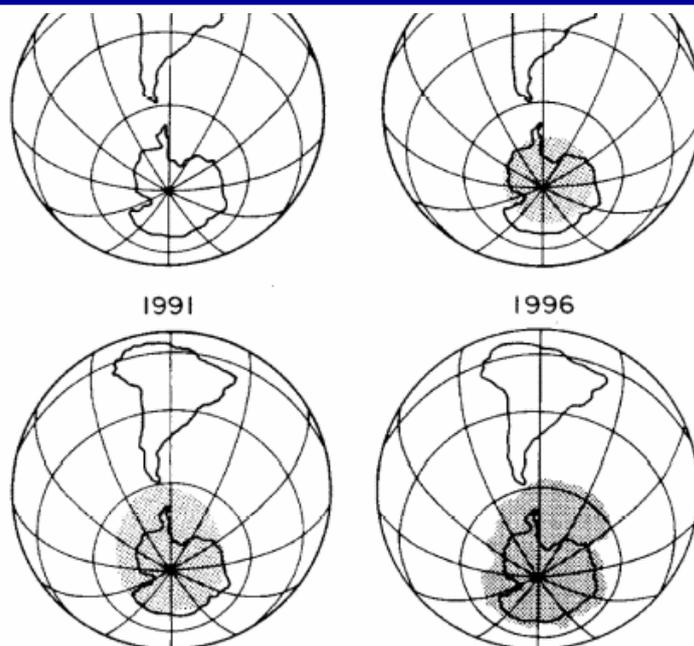
En el hemisferio Sur, el Polo Sur es parte de una gran masa terrestre, la Antártida, que está completamente rodeada por los océanos. Esto se refleja en las condiciones meteorológicas, que permiten la formación de una región muy fría en la estratosfera por encima del continente Antártico, aislado en invierno por una banda de vientos fuertes que circulan alrededor del polo, cerca del paralelo de 65°S. Las temperaturas estratosféricas, muy bajas, llevan a la formación de nubes (nubes estratosféricas polares) que son responsables de las modificaciones químicas que promueven la producción de cloro y bromo químicamente activos. Esta activación del cloro y del bromo lleva seguidamente a una pérdida rápida del ozono cuando la luz del sol vuelve a la Antártida en septiembre y octubre de cada año, lo que conlleva a la formación del agujero antártico de la capa de ozono. Como se muestra en la figura, la magnitud de la pérdida del ozono ha crecido en el transcurso del decenio de 1980 a medida que han aumentado en la atmósfera las cantidades de compuestos de origen humano que agotan la capa de ozono.

No existen condiciones similares por encima del Ártico. Las temperaturas invernales en la estratosfera ártica no son constantemente bajas durante muchas semanas como ocurre en la antártica, lo cual conlleva a un menor agotamiento de la capa de ozono.

Fuente: www.unep.ch/ozone/faq-science-sp.shtml

El sol emite radiación en una amplia gama de energía, siendo, aproximadamente, el 2% en forma de radiación de alta energía, radiación ultravioleta (UV). Parte de esta radiación UV (UV-B) es particularmente eficaz en dañar a los seres humanos, por ejemplo, quemaduras solares, cáncer de piel, y daños oftalmológicos. La cantidad de

Sustancia	Efecto Ambiental	Protocolos, Directivas y Programas	Año
CFCs , CCl ₄ , CH ₃ Cl ₃ , CH ₃ Br Halones, HBFCs	• Destrucción de Ozono Estratosférico	• Montreal Protocol	1987
Combustibles Fósiles	• Efecto Invernadero (CO ₂) • Calentamiento Global	• Kioto Protocol	1997
DBPs, Contaminantes Ambientales	• Contaminación del Agua	• Framework Directive: 2000/60/CE • Related Directives: 80/68/CE, 76/464/CE)	2000
Contaminantes Orgánicos Persistentes (POP)s	• Persistencia en el medio • Bioacumulación • Toxicidad	• UNEP Chemicals Programme • Rotterdam Convention • Stockholm Convention	1997
DISOLVENTES	• Emisión de VOCs • Formación de O ₃ Troposférico • Riesgos Laborales	• Directives: 99/13/CE, 2001/81/CE • CAFE Programme • Llei PRL	1999
PRODUCTOS COMERCIALES	• Toxicidad	• REACH	2003



radiación UV solar recibida en cualquier lugar en particular sobre la superficie de la tierra depende de la posición del sol sobre el horizonte, de la cantidad de ozono en la atmósfera y de las condiciones de nubosidad y contaminación locales. Los científicos están de acuerdo en que, a falta de modificaciones en las nubes o en la contaminación, la disminución del ozono atmosférico lleva consigo aumentos de la radiación UV a nivel del suelo.

Tomado de IUCT Green Chemistry

6.2 Normativa.

6.2.1 Convenios internacionales.

La Convención de Viena, celebrada en Mayo de 1985, fue la primera de las reuniones en la que se pusieron las bases para el estudio de los productos tipo CFCs (agentes clorofluorocarbonados, utilizados como agentes refrigerantes y aerosoles) y de los halones. En ella se hizo una declaración de intenciones para profundizar en el estudio de estos productos y crear las bases para la reducción de su producción y de su uso. En Septiembre de 1987, promovido por la **UNEP** (Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas) se desarrolló el **Protocolo de Montreal** que finalizó con la definición de cinco CFCs y de tres halones (halones 1211, 1301 y 2402) y se establecieron sus restricciones (Ver tabla 1). El acuerdo fue aceptado por los 30 países productores de CFCs y de halones más importantes del mundo. En España se publicó en el B.O.E. la ratificación del acuerdo de Montreal sobre el control de las sustancias descritas, en el año 1989.

6.2.2 Legislación Europea.

El Reglamento (CE) nº 2037/2000 relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, que deroga el Reglamento (CE) nº 3093/94 del Consejo, adapta el régimen comunitario a los avances técnicos registrados desde la adopción del Reglamento sustituido, así como a los cambios introducidos en 1995, 1997 y 1999 en el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Al establecer medidas de control más estrictas que las previstas en el Reglamento (CE) nº 3093/94, y en el Protocolo de Montreal, tiene en cuenta la disponibilidad creciente de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono.

El Reglamento se aplica a:

- la producción, importación, exportación, comercialización, uso, recuperación, reciclado y regeneración de los productos, o de los equipos que contienen, clorofluorocarbonados (CFCs), otros clorofluorocarbonados totalmente halogenados, los halones, el tetracloruro de carbono, el 1,1,1-tricloroetano, el bromuro de metilo, los hidrobromofluorocarbonados y los hidroclorofluorocarbonados (HCFCs), todas ellas denominadas «**sustancias reguladas**» y, en determinados casos, a los productos o aparatos que contienen dichas sustancias;
- la comunicación de datos sobre dichas sustancias;
- las inspecciones y sanciones;
- las sustancias nuevas.

Por lo que al **Sector Naval** incumbe y, en concreto, a las instalaciones de contraincendios en buques, se prohíbe la comercialización y el uso de los halones, obligando a ser totalmente sustituidos por HCFCs pero, a su vez, el uso de éstos se irá eliminando de forma progresiva, estableciéndose la total prohibición de su uso a partir del 1 de Enero de 2020, de acuerdo con lo que se expone más adelante (**Anexo VI del MARPOL 73/78**).

En relación con los halones, el **Reglamento 2037/00 relativo a las “sustancias que agotan la capa de ozono”** prohíbe la comercialización y uso de estas sustancias en la UE, incluido su uso en los sistemas de protección CI a bordo de los buques. No obstante, el Anexo VII de dicho Reglamento contemplaba un número limitado de excepciones para usos críticos de los halones en los casos en que no existieran alternativas económica y técnicamente viables. Entre estas excepciones figura el uso de los halones en los buques de carga existentes. Dado que los buques construidos a partir del 1 de julio de 1994 no deberían tener halones a bordo, en la práctica, sólo los buques construidos antes de esa fecha tendrían sistemas de lucha CI con halones. Por ello, la Comisión habría de revisar todos los años los usos críticos de halones que contempla el Anexo VII del Reglamento, a la luz de las alternativas disponibles y, cuando procediera, adoptar modificaciones de dicho Reglamento 2037/00, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 18.

Junto con los halones quedaron prohibidas, a partir de la fecha de entrada en vigor del Reglamento, la comercialización, la utilización, la producción y la importación de los CFCs, otros CFC totalmente **halogenados, el tetracloruro de carbono, el 1,1,1-tricloroetano y los hidrobromofluorocarbonados**. Esta prohibición no afectaba a los productos y equipos fabricados antes de la entrada en vigor del Reglamento.

La Comisión se comprometía a estudiar, con la suficiente antelación a la fecha final de su uso permitido, las disponibilidades técnicas y económicas de productos alternativos.

El Reglamento 2037/00 es aplicable desde el 1 de octubre de 2000.

6.2.3 Efectos de los acuerdos internacionales.

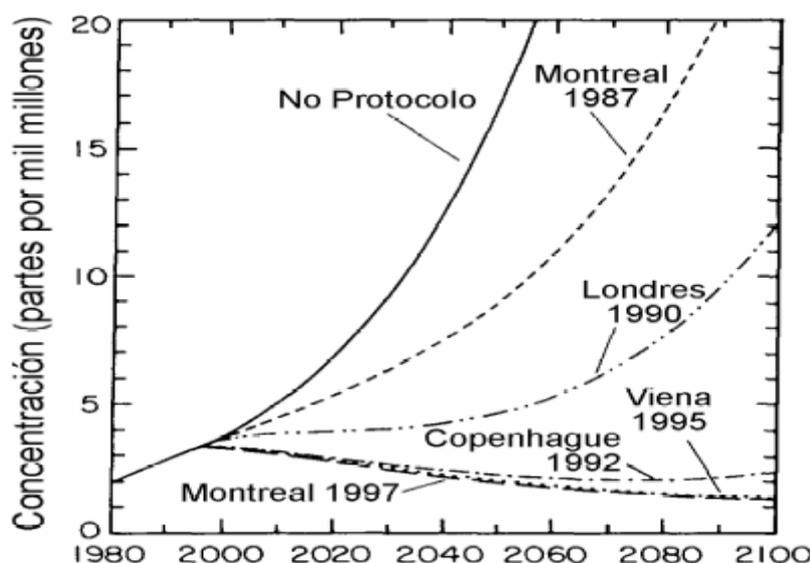
En 1987, el reconocimiento de que el cloro y el bromo tenían un potencial de destrucción del ozono estratosférico llevó a las Naciones Unidas a elaborar el Protocolo de Montreal sobre las sustancias que agotan la capa de ozono, siguiendo al Convenio de Viena de 1985 para la protección de la misma, conducente a reducir la producción mundial de sustancias que la agotan. Subsiguientemente, observaciones mundiales de un agotamiento importante del ozono obligaron a incorporar enmiendas que dieran mayor vigor al tratado. La **Enmienda de Londres de 1990** exige que el cese de la producción de las sustancias más nocivas que agotan la capa de ozono se adelantara al año 2000 en los países desarrollados y al año 2010 en los países en desarrollo. La **Enmienda de Copenhague de 1992** modificó la fecha de la prohibición al año 1996 en los países desarrollados. Se han convenido otras restricciones de las sustancias que agotan la capa de ozono en **Viena (1995)** y en **Montreal (1997)**.

En la figura 5 se muestran las cantidades de cloro y de bromo estratosféricos existentes en el pasado y las cantidades previstas que existirían en el futuro si no se hubiera firmado el citado Protocolo; las correspondientes si se aplicaran las disposiciones originales del Protocolo de Montreal de 1987 y si se aplicaran los acuerdos subsiguientes. Sin el Protocolo de Montreal y sus enmiendas, el uso continuado de los clorofluorcar-

bonados (CFCs) y de otras sustancias que agotan la capa de ozono se habría multiplicado por 10, y las grandes cantidades de cloro y de bromo en la estratosfera a mediados del año 2050 llevarían a grandes pérdidas de ozono, experimentando un agotamiento muy superior al observado en la actualidad y al previsible si se cumplen las estipulaciones de los convenios internacionales citados sobre este asunto.

En Noviembre de 1992 se redactó la **Enmienda de Copenhague**, por la cual la mayoría de países productores de estos agentes tomaron la decisión de cesar la producción de los mismos a partir de 1 de enero de 1994. El Diario Oficial de las Comunidades Europeas de Agosto de 1993 recogía en un reglamento las decisiones adoptadas en Copenhague para el cese de producción e importación de terceros países de sustancias que agotan la capa de ozono, poniendo como fecha tope para todas las sustancias el 31 de Diciembre de 1996.

Influjo de los acuerdos internacionales en el cloro/bromo estratosféricos que agotan el ozono



Fuente: www.unep.ch/ozone/faq-science-sp.shtml

6.2.4 Normativa marítima internacional. El Anexo VI del MARPOL.

El Protocolo adoptado en 1997 del **MARPOL 73/78**, conteniendo el **Anexo VI** con las **Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques**, entró en vigor el 19 de mayo de 2005. Se aplica a buques de más de 400 toneladas de arqueo bruto y plataformas off-shore, con ciertas excepciones. Puede aplicarse a buques de menor arqueo si así lo determina la Administración correspondiente.

En el Anexo VI se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agoten la capa de ozono, entre las cuales se incluyen los halones y los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs).

En las emisiones deliberadas se comprenden las que se producen durante el mantenimiento, la revisión, la reparación o la retirada de sistemas o equipos, excepto la liberación o el reciclaje de una sustancia que agota la capa de ozono.

En el Anexo VI se indica que a bordo de los buques puede haber, sin que esta lista sea exhaustiva, las siguientes “sustancias que agotan la capa de ozono”:

Halón 1211 (Bromocloro diflúor metano); Halón 1301 (Bromo triflúor metano); Halón 2402 (1,2-Dibromo-1,1,2,2-tetraflúor etano) también denominado Halón 114B2; CFC-11 (Tricloro flúor metano); CFC-12 (Dicloro diflúor metano); CFC-113 (1,1,2-Tricloro-1,2,2-triflúor etano); CFC-114 (1,2-Dicloro-1,1,2,2-tetraflúor etano); CFC-115 (Cloro pentaflúor etano).

Se prohíbe además disponer en los buques nuevas instalaciones que contengan “sustancias que agoten la capa de ozono”. Sin embargo, se permiten nuevas instalaciones que contengan hidroc fluorocarbonados (HCFCs), pero sólo hasta el 1 de enero de 2020.

Es digno de mencionar el reconocimiento y énfasis del Comité de Protección del Medioambiente Marino (CPMM) de la OMI sobre la necesidad de que las directrices de esta Organización regulen los asuntos relacionados con las emisiones de los seis gases de efecto invernadero cubiertos por el Protocolo de Kyoto, es decir: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Hidroflúorcarbonados (HFCs), Perflúorcarbonados (PFCs) y Hexafluoruro de azufre (SF₆).

6.3 Situación técnica. Nuevos productos.

Paralelamente a la desaparición de los productos citados (CFCs, halones, HCFCs), la industria ha lanzado al mercado nuevos productos gaseosos alternativos, llamados “agentes limpios”, para su uso en salas de ordenadores, archivos de gran valor etc., para ser usados desde instalaciones automáticas de extinción por inundación total, que cumplen con las exigencias requeridas en los acuerdos internacionales. Entre ellos destacan por su gran comercialización:

Nombre Químico	Fórmula	N. Comer.	NOAEL	LOAEL	ODP	GWP
Trifluorometano	CHF ₃	FE 13	=50%	>50%	0	alto
Perfluorbutano	C ₄ F ₁₀	PFC 410	=40%	>40%	0	alto
Heptafluorpropano	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	FM 200	=9%	=10,5%	0	bajo

Fuente: bomberosdenavarra.com

Actualmente se están investigando halones con iodo, que están en fase de experimentación.

En el campo de los refrigerantes han aparecido y se están utilizando otros agentes limpios gaseosos no pertenecientes al grupo de los CFCs, e incluso agentes utilizados con anterioridad, citando, por ejemplo, los siguientes nuevos productos: R 404 a (tetrafluoreetano), R 290 (propano), y R 134 a (trifluor etanol).

Capítulo 7. Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.

7.1 Situación actual.

¿Qué son los VOCs?

Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que además de carbono contienen elementos como hidrógeno y oxígeno y además pueden tener también alguno o varios de los elementos siguientes: nitrógeno, flúor, cloro, bromo y azufre. Entre ellos, los llamados compuestos orgánicos volátiles (identificados por sus siglas: COV en español y VOC en inglés), son aquellos que por tener una tensión de vapor alta, se vaporizan en condiciones ambientales y producen:

- Gases contaminantes atmosféricos a nivel terrestre (ozono troposférico)
- Gases que contribuyen al efecto invernadero
- Gases que contribuyen a agotar la capa de ozono

Están constituidos, principalmente, por mezclas de las fracciones más ligeras de los hidrocarburos. Dentro de estos productos se incluyen:

- Hidrocarburos (alcanos, alquenos, aromáticos). De forma especial el Metano (CH₄) es uno de los seis gases con efecto invernadero específicamente incluidos en el Protocolo de Kyoto.
- Elementos Oxigenados (alcoholes, aldehidos, cetonas,...)
- Especies que contienen halógenos

Se suele hacer una clara diferencia entre el metano y los que se podrían denominar como NMCOVs (no metano COVs), que estarían constituidos por los componentes restantes, excluyendo el metano.

El metano contribuye al efecto invernadero (Cambio climático y calentamiento global) mientras que los NMCOVs junto con el NO_x dan lugar a la formación de ozono troposférico que tiene efectos perjudiciales para la salud humana, de los animales y de los vegetales

Ejemplos de COVs son también la gasolina, el formaldehído, disolventes como el tolueno, el xileno y el percloroetileno (o tetracloroetileno), siendo éste usado como el principal disolvente para lavado en seco.

De acuerdo con el Real Decreto 117/2003, de 31 de enero se entiende por **compuesto orgánico volátil (COV)**: todo compuesto orgánico que tenga a 293,15 K una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.

Fuentes de emisión de COVs.

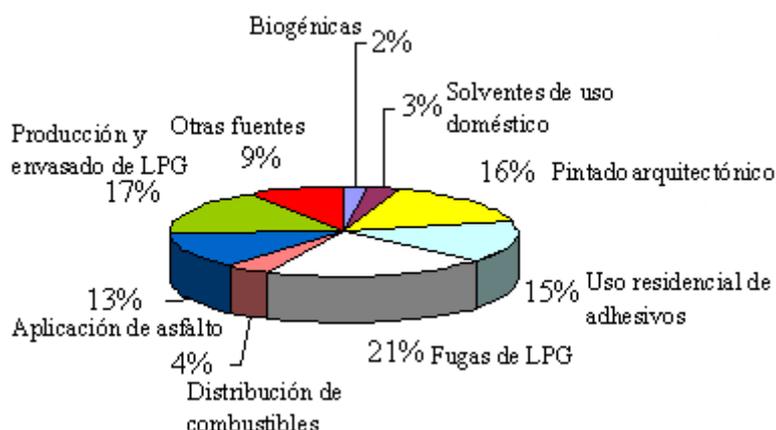
Los COVs son liberados durante el almacenamiento, operaciones de carga y descarga de hidrocarburos, procesos en que existe combustión parcial ya sea de hidrocarburos líquidos y gaseosos, como en la de otras sustancias combustibles. También son liberados en forma de vapor por disolventes, pinturas, pegamentos y otros productos para uso doméstico e industrial.

Muchos COVs se usan comúnmente, entre otras aplicaciones, como disolventes de pinturas, de resinas y de lacas, repelentes de polillas y otros insectos, aromatizantes del aire, conservantes de la madera, aerosoles, disolventes de grasa, como productos para automoción, líquidos para la industria de lavado en seco, etc.

Consecuentemente, las plantas de almacenamiento de hidrocarburos, los buques y otros elementos para su transporte, además de las plataformas petrolíferas e instalaciones en tierra para procesado del crudo, se encuentran entre las fuentes de emisión de COVs. Excepto el ferrocarril electrificado, los otros medios de transporte en general como son los coches y los camiones y la industria química orgánica, las industrias de fabricación de plásticos, de fabricación de pinturas, de disolventes, etc. se encuentran también entre las principales fuentes de emisión de COVs. Y pueden ser fuentes importantes de emisión de COVs las plantas térmicas e instalaciones donde se produce algún tipo de combustión de productos energéticos si, por diversas causas, esta es deficiente.

Entre los componentes orgánicos, los más peligrosos por su efecto contaminante son los hidrocarburos.

Principales fuentes de COVs sin incluir a automóviles e industrias



Fuente: Anuario CONAMA 2000

7.1.1 Los Compuestos Orgánicos Volátiles y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud

Desde el punto de vista de su origen, los contaminantes químicos pueden dividirse en dos grupos:

- contaminantes primarios, emitidos directamente a la atmósfera desde los focos contaminadores,
- contaminantes secundarios, que se originan en la atmósfera en reacciones entre dos o más contaminantes primarios o con los constituyentes del aire.

Algunos COVs son peligrosos contaminantes del aire. La mayoría son precursores de ozono, mezclándose con óxidos de nitrógeno y reaccionando para formarlo. Además, tienen efectos sobre la salud y algunos constituyen conocidos agentes cancerígenos.

Además de su carácter intrínsecamente tóxico (son cancerígenos y mutagénicos, especialmente los aromáticos), los hidrocarburos junto con el NO₂ y la luz solar son los principales precursores del ozono troposférico, lefecto denominado “smog” fotoquímico.

Efecto sobre la atmósfera

Ya hemos mencionado los principales efectos:

- Contribuyen a la formación de ozono a nivel terrestre
- Contribuyen al efecto invernadero
- Contribuyen a agotar la capa de ozono

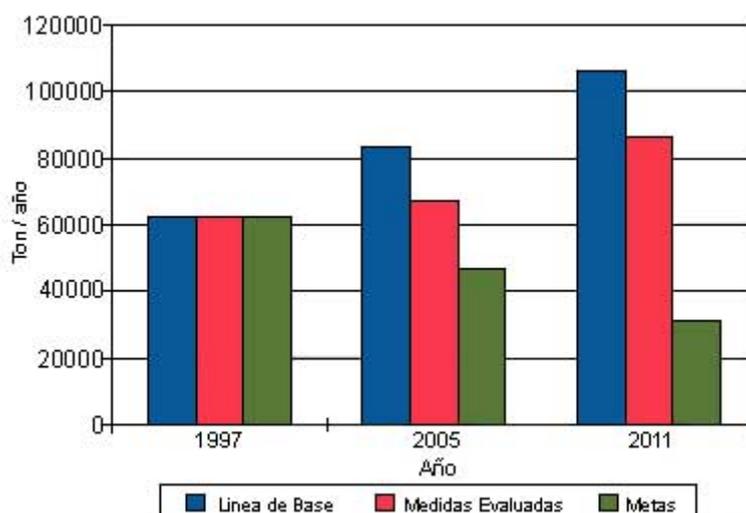
La presencia del ozono en la troposfera es indeseable por sus efectos irritantes y tóxicos sobre las mucosas pulmonares. Los efectos de los productos del “smog” fotoquímico son devastadores. No sólo irritan las mucosas de personas y animales, produciendo o agravando enfermedades respiratorias como el asma o incluso el cáncer de pulmón, sino que alteran la función clorofílica de las plantas, deterioran los alimentos, atacan el caucho y los plásticos, deterioran las pinturas y revestimientos, etc

El Metano (CH₄), es uno de los ICOV importantes y suele ser considerado de forma independiente porque su impacto ambiental contribuye de forma importante al calentamiento global por el efecto invernadero.

Necesidad de reducción de las emisiones a la atmósfera

La reducción de las emisiones de COVs requiere una estrategia combinada de prevención y de control para aminorar la cantidad de emisiones, su toxicidad y su efecto sobre la disminución de ozono mediante la racionalización del uso de dichos COVs y la reformulación y sustitución de disolventes. Igualmente se requiere, además, implantar prácticas adecuadas para su manejo, almacenamiento, transporte y aplicación a fin de evitar su evaporación y liberación a la atmósfera.

Efectividad en la reducción de las emisiones COVs



Fuente: PPDA, 1997

Efectos sobre la salud.

Los efectos de los COVs sobre la salud difieren notablemente según sea la naturaleza del compuesto, variando desde la ausencia de efectos conocidos hasta un alto grado de toxicidad y dependiendo no sólo de la citada naturaleza del compuesto sino también de la intensidad y tiempo de exposición al mismo.

Ya se citó el benceno como cancerígeno humano. También lo es el 1,3 butadieno, siendo estos productos emitidos a través de la combustión del petróleo y de sus derivados. Se supone además con cierto grado de fundamento que el formaldehído y el percloroetileno lo son igualmente.

Existen también los compuestos aromáticos policíclicos que, aunque se emitan en pequeñas cantidades a la atmósfera, son potencialmente cancerígenos.

Las personas con mayor riesgo y tiempo de exposición a los citados COVs son los trabajadores industriales que tienen una exposición ocupacional prolongada y los fumadores y las personas expuestas por largos períodos a las emisiones producidas en el tráfico de vehículos.

Además, la exposición prolongada a los COVs puede causar lesiones en el hígado, riñones y sistema nervioso central. Las exposiciones cortas pueden causar irritación de ojos y respiratorias, dolor de cabeza, mareo, trastornos visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas, náuseas y trastornos de la memoria.

Por otra parte, los COVs provocan la formación de partículas finas, resultando así un material más dañino para la salud ya que, debido a su pequeño tamaño, penetran más fácilmente en los alvéolos pulmonares donde se genera el intercambio de gases en los organismos vivos superiores.

7.1.2 Los Compuestos Orgánicos Volátiles de las cargas transportadas por el mar.

En el transporte marítimo se manejan gran cantidad de cargas incluidas en la relación de productos generadores de COVs, por ello se han definido y regulado las condiciones en las que deben ser transportadas y manejadas para impedir o minimizar el riesgo de contaminación.

Podemos diferenciar varios tipos de cargas líquidas:

- Las incluidas en el Código de Productos Químicos
- Los crudos y productos de petróleo
- Los gases licuados que se transportan con relicuefacción
- Los gases licuados que se transportan permitiendo un grado limitado de vaporización.

7.1.2.1 Las cargas incluidas en el Código de Productos Químicos.

Tanto por el riesgo potencial de estas cargas, como por su valor comercial, estas cargas están sometidas a exigencias, en general, superiores a las que regulan sus procesos industriales terrestres (sistemas de ventilación controlada, inertado, líneas de descarga de vapores a tierra, etc.), por lo que su transporte y manejo en el mar y en las instalaciones portuarias, tiene un efecto mínimo.

7.1.2.2 Los crudos y productos de petróleo.

Su transporte en condiciones de presión controlada por válvulas de presión y vacío y el sistema de descarga mediante el relleno del tanque de carga con gas inerte, ha reducido la cantidad de vapores contaminantes descargados a la atmósfera durante las operaciones de carga de los buques.

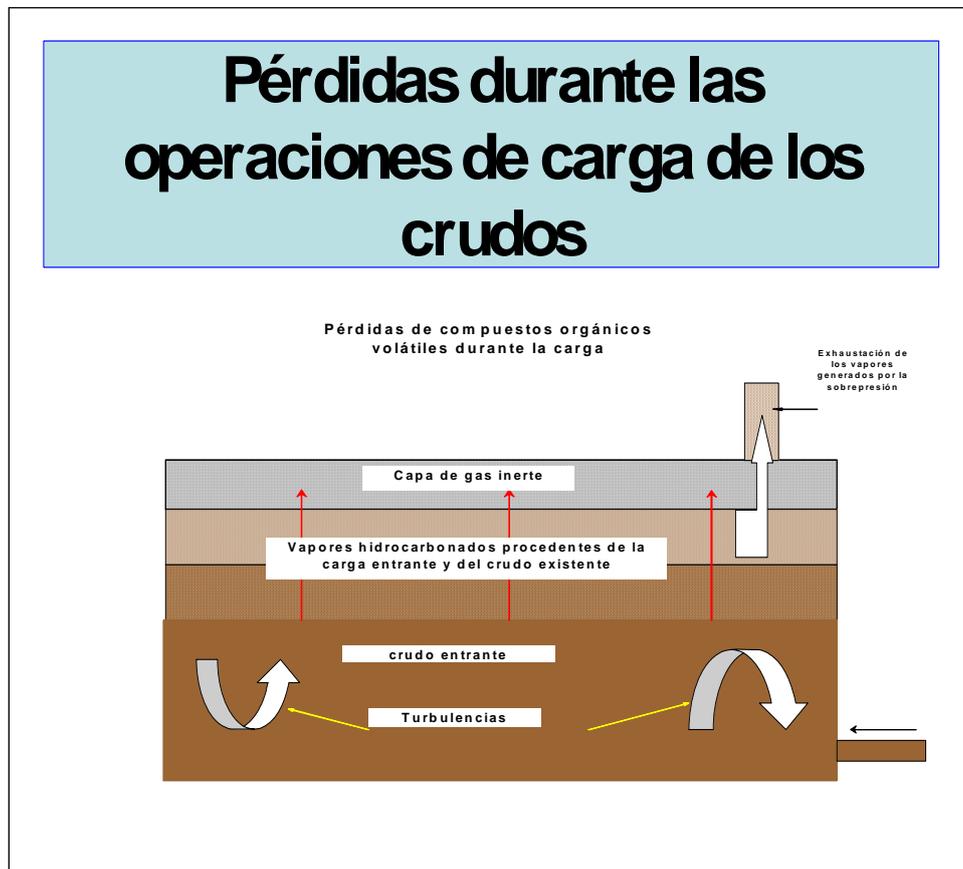
Las nuevas exigencias de sistemas de recogida de gases y su retorno a tierra durante los procesos de carga, evitarán las descargas de gases a la atmósfera a partir de 2005.

No obstante las exigencias no son iguales para buques grandes o pequeños, ni para buques nuevos o existentes, por lo que dentro de este tipo de cargas se produce una cierta cantidad de gases expulsados a la atmósfera, en cifras significativas.

El proceso está controlado por la presión de vaporización (tensión de vapor) de cada tipo de crudo o producto de petróleo que se maneje, correspondiente a la temperatura de la carga.

La mayor parte de los crudos, incluso en condiciones de calefacción, son poco volátiles, excepto algunos como los crudos de Mar del Norte cuya tensión de vapor en las condiciones de manejo es próxima a la presión atmosférica (0,965 bar a 25 °C) y producen vaporizaciones fuertes tanto en los procesos de carga como en los de transporte. Para estos crudos se utilizan, en algunos casos, disposiciones de tanques intermedios que reducen la superficie libre durante las operaciones de llenado y minimizan la agitación de la carga, así como sistemas de recuperación de los vapores de carga.

Pérdidas durante las operaciones de carga de los crudos



Fuente: Platts Conference – New Orleans, June 2004

Los productos refinados tienen diferentes grados de volatilidad. En general se transportan en condiciones que minimizan las pérdidas, pero los productos más ligeros como las gasolinas, etc., producen unas cantidades de COVs significativas.

Por el gran volumen de cargas transportadas, merece la pena mencionar los datos correspondientes a la UE sobre productos de petróleo y sobre crudos:

	Productos de Petróleo	Crudos
Transporte anual en UE (millones de toneladas)	50-60	114 (mas 129 en Noruega)
Emissiones de COV (miles de toneladas)	9	114
Porcentaje de emisiones marinas / totales ICOV en Europa	0,07 %	0,8%

Estas cifras confirman que el transporte marino no es una fuente tan peligrosa como otras. No obstante debe ser regulado y alcanzar los mismos niveles de esfuerzo en reducción de la contaminación que se buscan en el transporte terrestre.

Procedimientos para reducción de emisiones de COV en buques tanque de cru- dos y productos:

Se han estudiado una serie de procedimientos para reducir las emisiones de COVs en petroleros, dentro de tres líneas de actuación:

- A) Reducción de la volatilidad de la carga: No se considera un método aplicable en la práctica (aunque se estudia mejorar las operaciones de forma que se minimice la cantidad de COV generada, actuando sobre los procesos en lugar de actuar sobre la carga).
- B) Equilibrado del vapor entre la fuente de suministro y el buque: Con problemas prácticos. Una solución intermedia es el retorno de gases a tierra para ser elimina- do o tratados fuera del buque.
- C) Tratamiento de los vapores que se producen en el tanque de llenado, mediante:
 - a) Combustión de los vapores: es el método normalmente empleado en USA. Se pueden emplear postes de descarga con antorcha de combustión cerrada, o sistemas más complejos de oxidación catalítica y adecuados como recupera- dores de calor. Para llamas, sistemas anti-explosión y apagado por gas inerte, son necesarios como medidas de seguridad.
 - b) Absorción de gases al circular contracorriente en un flujo de líquido absorbente enfriado
 - c) Absorción al pasar a través de un lecho de carbón activo.
 - d) Separación a través de membranas semipermeables
 - e) Condensación en un intercambiador criogénico

Para las operaciones de llenado en terminal de carga, la nueva reglamentación requie- re de vapores de carga a tierra.

Para los vapores producidos en productos muy volátiles, se propone el sistema de condensación de los vapores como el mas adecuado y se presenta como el que se puede imponer en un futuro próximo. Los vapores condensados se almacenarían en tanques en cubierta y se utilizarían durante la descarga del buque, en un proceso simi- lar al utilizado en los buques gaseros.

Este sistema podría ser aplicado a petroleros que no están obligados a llevar planta de Gas inerte, pero no parece que la tendencia de la legislación actual vaya en esa direc- ción.

Mejoras introducidas en el diseño de petroleros, para reducir la generación de COVs:

Como complemento a las actuaciones de tratamiento de los COVs se ha actuado tam- bién sobre el diseño de los espacios de carga y los procesos de llenado de los tanques, con el objetivo de minimizar la cantidad de vapores producidos, que está muy condi-

cionada a la agitación de la carga y a la superficie de evaporación durante esas operaciones de carga.

En buques shuttle operando en el Mar del Norte con crudos muy volátiles, se han aplicado diseños de los tanques de carga específicos para reducir la evaporación de la carga durante el llenado de los tanques. En estos casos se ha dispuesto un tanque de poca sección y alto, como destino inicial de la carga en el llenado. En este tanque la superficie libre es pequeña, el efecto de agitación de la carga es menor, pronto se consigue una altura hidrostática con la que se reduce el proceso de vaporización. Una vez llenado este tanque se trasvasa con el caudal máximo posible a otro tanque, de forma que se evita que los tanques grandes de carga tengan una cantidad pequeña en su zona inferior, con mucha superficie libre y agitación de la carga, que es el periodo en el que se producen las mayores vaporizaciones.

7.1.2.3 Los gases licuados que se transportan con relicuefacción.

En estos transportes de gases licuados, como butanos y propanos, se utiliza un proceso de relicuefacción capaz de mantener o bajar la temperatura de la carga durante el transporte por lo que no se producen descargas a la atmósfera significativas, excepto las mínimas pérdidas en los sistemas, que suelen ser inferiores a las correspondientes a procesos similares en tierra.

7.1.2.4 Los gases licuados que se transportan permitiendo un grado limitado de vaporización.

Este es el caso típico de los buques que transportan los hidrocarburos más ligeros, como son el metano y etano. Especialmente los grandes metaneros, que ahora transportan grandes volúmenes de carga (125.000 – 150.000 m³), se han diseñado durante muchos años de forma que el aislamiento de los tanques de carga limite el flujo de calor hacia la carga, de forma que la vaporización de la carga no sobrepase diariamente una cifra (en porcentaje de la capacidad total de carga), en las condiciones ambientales máximas esperadas en la zona de operación del buque.

Naturalmente este gas producido durante el transporte, o boil-off, se utiliza normalmente para la propulsión como combustible de calderas mixtas y en motores preparados para quemar combustible dual gas/fuel.

Los valores de boil-off admisible típicos de diseño, suelen adoptarse en función de la utilización de los gases para la propulsión:

- Para buques con propulsión por turbinas se suele adoptar un boil-off diario del 0,15 - 0,2 % en peso de la carga total
- Para buques propulsados a motor o quemando combustible dual, se suele adoptar un 0,1 %, ya que el rendimiento de la planta es muy superior.

No obstante, en especificaciones de buques con calderas se puede fijar unas cifras intermedias.

Buque LNG construido en la factoría de Sestao. Diseñado para un boil-off máximo de 0.15 %
Fuente: Astillero de Sestao



En los últimos años se están aplicando alternativas de relicuefacción del boil-off, atendiendo a criterios ecológicos y a la optimización de la propulsión, así como a la simplificación y reducción de riesgos en las instalaciones de cámaras de máquinas de los buques. Las soluciones adoptadas corresponden a utilizar para la propulsión motores diesel lentos de alto rendimiento, independizando totalmente la cámara de máquinas de los circuitos de carga, frente a soluciones de quemar el boil-off en calderas y utilizar turbinas de propulsión o motores de combustible dual, que requieren la introducción de los vapores de carga dentro de la cámara de máquinas.

Como ejemplo, este año se ha publicado la noticia de la contratación, por parte de la naviera norteamericana Overseas Shipholding Group, con destino al proyecto Qatar-Gas II, de cuatro buques LNG de 216.000 metros cúbicos de capacidad (los más grandes contratados hasta el momento en todo el mundo), a construir en los astilleros coreanos Hyundai y Samsung, y cada uno de los cuales irá propulsado por dos motores lentos de dos tiempos, marca MAN B&W, modelo 6S70 ME-C, de 18.660 kW cada uno a 91 rpm, que utilizarán HFO como combustible. Además de ser los primeros en incorporar este tipo de motores, estos buques serán también los primeros en incorporar a bordo una planta para relicuar el gas evaporado de la carga ("boil-off") puesto que éste ya no se utiliza como combustible de los motores propulsores, sino que se devuelve a los tanques en forma de carga líquida útil, que contribuye a mejorar la economía de explotación del buque.

7.1.3 Emisiones de compuestos orgánicos volátiles en astilleros.

Los astilleros, que generalmente no presentan problemas medioambientales que no puedan ser remediados con una buena gestión medioambiental, tienen, sin embargo, graves impactos medioambientales de difícil, o costosas, soluciones, derivados de los procesos de tratamientos de las superficies de acero, si éstos se realizan por chorreado a presión con áridos y posterior pintado con pinturas de altas prestaciones que suelen necesitar altos porcentajes de disolventes (normalmente del 60%) para facilitar, y a veces posibilitar, su aplicación.

El chorreado produce altos índices de inmisión de partículas primarias en el aire ambiente, aparte de enormes cantidades de residuos, mientras que la aplicación de este tipo de pinturas va acompañada de emisiones de VOCs, en cantidades que dependen del tamaño y el estándar de los buques construidos o reparados.

En los astilleros que dispongan de cabinas de chorreado, la reducción de emisiones es de relativamente fácil solución, disponiendo en las chimeneas de exhaustación de aire de las cabinas equipos de quemado de gases, similares a los dispuestos en algunos petroleros. Para las factorías navales que demuestren que no pueden desarrollar las labores de pintado de forma confinada (astilleros de reparaciones), deberán establecer un sistema de reducción de emisiones de COVs, siempre que sea técnica y económicamente posible.

La reciente normativa ya ataca este problema, y para el caso de la emisión de VOCs, el R.D. 117/2003 de 31 de enero, sobre la limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades, (transposición de la Directiva 1999/13/CE de 11 de marzo) estipula los valores límites de emisiones para ciertas actividades, entre ellas las de recubrimiento de vehículos, en los que se incluyen los buques y los aviones. Estos valores dependen del consumo anual de disolventes, y sólo para tratamientos en espacios confinados (cabinas de chorreado y pintado en el caso de astilleros de construcción), y varían desde 50 mg C/Nm³ de cabinas equipos de quemado de gases, similares a los dispuestos en algunos petroleros.

Para las factorías navales que demuestren que no pueden desarrollar las labores de pintado de forma confinada, (astilleros de reparaciones), deberán establecer un sistema de reducción de emisiones de COVs, siempre que sea técnica y económicamente posible.

La Directiva 2004/42/CE del parlamento Europeo y del Consejo de 21 de abril de 2004, limita el contenido total de COVs de determinadas pinturas, barnices, etc, empleados el pintado de vehículo (buques y aviones incluidos). Estas limitaciones entrarán en vigor en dos fases, 1.12.2007 y 1.1.2010. Por ejemplo, las pinturas de altas prestaciones tendrán que tener unos contenidos máximos de COVs de 600 g/l para pinturas a base de disolventes, y de 140 g/l para las pinturas a base de agua desde el 1.1.2007. A partir del 1.1.2010 las pinturas a base de disolvente tendrán un contenido máximo de 500 g/l.

No se incluyen en el término "contenido en COVs" a la masa de compuestos volátiles orgánicos de un producto que reacciona químicamente durante el proceso de secado, pasando a formar parte del recubrimiento.

Estas dos normas legales suponen un desafío tanto técnico como tecnológico para la construcción naval, especialmente la de conseguir pinturas de altas prestaciones que no exijan los altos patrones de anclaje de las superficies a tratar (para no tener que usar procedimientos tan agresivos al ambiente como es el chorreado con áridos), que contenga menores cantidades de disolventes en su composición (sin que ello dificulte grandemente su aplicación), sin emitir cantidades excesivas de COVs a la atmósfera, y sin acortar gases residuales para consumos iguales o menores a 15 t/año, hasta 100 mg C/Nm³ de gases residuales para consumos de disolventes mayores de 15 t/año. Estos valores deberán ser cumplidos obligatoriamente por las instalaciones existentes

desde el 31 de octubre de 2007, excepto en el caso de que posean equipos de reducción de ciertas características que quedarán exentas hasta abril de 2013.

7.2 Convenios y Normativa Internacional.

La preocupación mundial de protección de la atmósfera lleva muchos años afectando al sector marítimo, aunque el problema de los COVs no ha sido el más preocupante, comparado con otros que ha habido que resolver, como el de los gases de escape y las emisiones de NO_x y SO_x.

Ya en la Asamblea 30ª del MEPC se fijaron unos requerimientos y unos objetivos de reducción de la contaminación atmosférica, que buscaban una reducción de los COVs al 70 % de los valores en esos momentos para el año 2000.

El Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la OMI, durante los años 80' y 90' creó una serie de grupos de trabajo, que adoptaron en 1991 la Resolución **A.719 (17) sobre la Prevención de la Contaminación del Aire por los Buques**. En los años siguientes se prepararon las normas que actualizaban el Convenio MARPOL.

7.2.1 MARPOL.

La legislación Internacional sobre descargas a la atmósfera está recogida en el **Anexo VI al Convenio de MARPOL 73/78 y fueron adoptadas en el protocolo de 1997**. No obstante, La dificultad en encontrar soluciones adecuadas y accesibles a los problemas, como el mencionado de los gases de escape de los motores propulsores, ha retrasado la entrada en vigor de dicho anexo hasta el **19 de Mayo de este año 2005**.

La legislación Internacional sobre descargas a la atmósfera está recogida en el **Anexo VI al Convenio de MARPOL 73/78 y fueron adoptadas en el protocolo de 1997**.

La regla 15 del Anexo VI es la que hace referencia expresa a los COV y exige la recogida de los vapores de carga en las operaciones en puerto.

Las normas específicas sobre los sistemas de retorno de gases a tierra se concretan en la circular MSC/Cir 585, de 16.04.1992

7.2.2 La Unión Europea.

Por otro lado, el Consejo de la UE acogió la propuesta de la Comisión de crear una Estrategia para reducir las emisiones de los buques con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, y se mostró igualmente favorable al desarrollo de una Estrategia de la Organización Marítima Internacional cuyo objetivo sería limitar las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques.

Además, mostró su acuerdo con la propuesta de la Comisión de evaluar la efectividad de las medidas dirigidas a regular las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de buques de carga en comparación con medidas actualmente vinculantes para los buques empleados en el almacenamiento, carga y transporte de gasolina de una terminal a otra o de una terminal a una estación de servicio, reguladas por la Directiva 94/63/CE.

La normativa actual más relevante sobre las emisiones de compuestos orgánicos volátiles es:

- **Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones (transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades).**

La Directiva cubre las emisiones de disolventes orgánicos procedentes de fuentes fijas comerciales e industriales para completar el Programa Auto-oil (Directivas relativas a las emisiones atmosféricas de automóviles y camiones con motores de combustión interna) y la Directiva 94/63/CE sobre el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio.

Esta directiva impone a los titulares de instalaciones en las que se realicen dichas actividades determinadas obligaciones, entre ellas, la de no superar los distintos valores límite de emisión que se especifican o la de reducir sus emisiones por otros medios, como el uso de productos con bajo contenido en disolvente o exentos de ellos. Asimismo, de conformidad con la citada norma comunitaria, las autoridades competentes deberán comprobar el cumplimiento de las obligaciones impuestas, quedando obligados los titulares de las instalaciones a facilitar a aquéllas los datos e informaciones necesarios para el desarrollo de su labor.

En un anexo de la Directiva figura la lista de industrias que utilizan disolventes orgánicos volátiles regulados por la misma. Con respecto a la mayoría de las actividades, la Directiva establece un umbral de consumo por encima del cual sus disposiciones son de aplicación.

Los Estados miembros deben adoptar las medidas necesarias para que todas las instalaciones nuevas cumplan la Directiva. Además, todas las instalaciones nuevas no reguladas por la Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y el control integrados de la contaminación deben ser objeto de registro o autorización antes de entrar en funcionamiento.

- **Directiva 1994/63/CE sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio [Diario Oficial L 365 de 31.12.1994]**

Se señala aquí la conveniencia de que la Comisión debería reflexionar sobre la posibilidad de ampliación de su ámbito de aplicación a la carga y descarga de buques.

- **Decisión de la Comisión, de 27 de junio de 2002**, [notificada con el número C(2002) 2234] DOCE L 172, 2-7-2002 (2002/529 CE) sobre el cuestionario para los informes de los Estados miembros referentes a la aplicación de la Directiva 1999/13/CE relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones
- **Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en las pinturas decorativas y**

los productos de renovación del acabado de vehículos, por la que se modifica la Directiva 1999/13/CE.

Esta Directiva tiene por objeto prevenir los efectos negativos en el medio ambiente de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) debidas a los disolventes utilizados en las pinturas y barnices decorativos y en los productos de renovación del acabado de vehículos. Fija unos límites de contenido de COV en estos productos. Las subcategorías de productos incluidos figuran en el anexo I de la Directiva.

Únicamente los productos que no superen el contenido de COV indicado en el anexo II de la Directiva podrán comercializarse en el territorio de los países miembros de la Unión Europea. Al comercializarse, deberán llevar una etiqueta.

Los Estados miembros establecerán un programa de control para controlar el contenido de COV en los productos contemplados por la Directiva.

Cada Estado miembro designará a una autoridad encargada de hacer cumplir las disposiciones de la Directiva. Se aplicará un régimen de sanciones eficaces, proporcionadas y que sean eficazmente disuasorias en caso de infracción.

Esta Directiva podría contribuir, según estudios realizados por la Comisión, a reducir las emisiones de COV en 280 kilotoneladas anuales aproximadamente hasta 2010.

7.2.3 Otras normativas.

Diversos países actualizaron sus legislaciones nacionales en los años 80' y 90'. Como ejemplo, **el U.S. Coast Guard** promulgó reglas relativas a la recogida de vapores de carga generados durante el llenado de buques tanque en Junio de 1990. Estas reglas hacen referencia especial a los sistemas de descarga y a las protecciones anti-llamas y anti-explosiones

7.2.4 Influencias de los Acuerdos.

La entrada en vigor del Anexo VI al MARPOL en este año, va a tener un efecto importante en las descargas de COVs a la atmósfera, aunque en valores absolutos este tipo de descargas no ha sido excesivamente preocupante y, además, se habían ya ido tomando algunas medidas de forma progresiva y anticipada en los últimos años.

- **En los buques quimiqueros y gaseros LPG:**

El nivel actual de control de descargas parece suficientemente elevado, por lo que los nuevos acuerdos no van a requerir modificaciones a las instalaciones actuales.

- **En los buques petroleros de crudos y productos:**

Los sistemas de recogidas de vapores de carga en petroleros durante el proceso de llenado, no son excesivamente complicados ni suponen grandes modificaciones en el buque, aunque suponen unas inversiones que se han evaluado.

Según el informe preparado para la Dirección de Medio Ambiente de la CE en 2001 ("Measures to reduce Emissions of VOCs during loading and unloading of ships in EU"), el coste por reducir 1 tonelada de emisiones de COV en instalaciones de tierra o en buques está en magnitudes de 500 y 2000 €/ t respectivamente.

Es decir que la reducción de COV mediante instalaciones en buques es del orden de cuatro veces más cara que las instalaciones de tierra.

Por otra parte, además de tomar medidas en los buques, en el caso de retorno de vapores a tierra, el problema puede estar en las terminales de carga que deberán de cumplir con las exigencias nacionales y disponer de las instalaciones correspondientes para el procesado y almacenamiento o eliminación de los vapores.

Los buques previstos para el transporte de crudos de alta tensión de vapor, como es el caso de los crudos del Mar del Norte, con una tensión de vapor prácticamente igual a la atmosférica, será conveniente aplicar alguno de los sistemas que ya se han probado, como son:

- los tanques intermedios para reducir la vaporización importante que se produce en el proceso de carga, reduciendo la superficie libre y la agitación de la carga.
- los sistemas de condensación de los vapores, para su posterior descarga a los tanques.
- **En los LNG:** El problema del Metano va a tener una duración mayor, ya que únicamente los buques de contratación y construcción reciente van a estar dotados de planta de relicuefacción de vapores de carga. Los buques existentes van a seguir navegando manteniendo las descargas actuales.

7.3 Conclusión.

Las emisiones de componentes orgánicos volátiles, durante las operaciones de manejo de cargas o en el transporte marino de las mismas, no se consideran dentro del grupo de las de mayor peligrosidad para la contaminación de la atmósfera. No obstante, el sector naval continua adoptando medidas para la reducción de este tipo de descargas. Las últimas normas recientemente entradas en vigor, que requieren la descarga de vapores a tierra, van a contribuir de forma importante en la reducción de los efectos nocivos que se venían produciendo.

Adicionalmente a las exigencias internacionales, la técnica tiene un conjunto de soluciones, que consideramos de gran efecto en la reducción de vapores para casos como:

- Mejoras del diseño del buque para un manejo adecuado de crudos de alta volatilidad en condiciones de manipulación
- Recuperación del boil-off de los buques metaneros

Consideramos de gran importancia la utilización de estas medidas tecnológicas, que deberán imponerse en el futuro, tanto por motivos ecológicos como por motivos económicos y operativos.

BIBLIOGRAFÍA

- (i) Ver detalles e información adicional en <http://unfccc.int>
- (ii) OMI: “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”, adoptadas en la Conferencia de las Partes en el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 1973 – 1978) mediante protocolo de septiembre de 1997.
- (iii) Beceip – Franlab: “System to Reduce Ship emissions of SO_x and NO_x”, realizado por encargo de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea. Agosto 2000.
- (iv) Carlier M.: “Impacto previsible de las nuevas normas de la OMI y de la UE sobre contenido de azufre en los combustibles marinos”. Bilbao, 27 de enero de 2005.
- (v) Beicip – Franlab: Advice on the cost to fuel producers and price premia likely to result from a reduction in the level of sulphur in marine fuels marketed in the EU. Abril 2002.
- (vi) Entec UK Ltd. “Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community”. Estudio para la Comisión Europea. Julio 2002. Véase informe completo en:
http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/chapter2_ship_emissions.pdf
- (vii) INMAR S.L. “Estudio sobre la legislación relativa al contenido de azufre en combustibles marinos”. Enero 2005.
- (viii) International Institute for Applied Systems Analysis: “Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) Programme”, octubre de 2004.
- (ix) Mazarrasa, A.: “Emisiones de SO₂ de barcos en Europa”. Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, AOP.
- (x) Norwegian Meteorological Institute: “EMEP 1998 deposition data by individual country or sea area adjusted for NECD emissions ceilings in 2010”.
- (xi) Comisión Europea: “Libro Blanco: La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad”, Bruselas, septiembre 2001.
- (xii) ONU: “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, adoptado el 11 de diciembre de 1997.
- (xiii) Organización Marítima Internacional.
- (xiv) Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación del Mar desde Buques.
- (xv) Se consideran “modificaciones importantes” las que afectan significativamente a las emisiones de NO_x, es decir las variaciones en avance y duración de inyección, equipo de inyección, aire de barrido o de sobrealimentación, o modificaciones en la geometría de la cámara de combustión. En caso de duda, corresponde al armador demostrar a la Administración que las modificaciones no afectan negativamente a las emisiones de NO_x.

-
- (xvi) Ver texto completo de la Directiva 1999/30 se encuentra en:
http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=es&type doc=Directive&an doc=1999&nu doc=30
- (xvii) Ver texto completo en: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28095.htm>
- (xviii) Ver texto completo en: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28026.htm>
- (xix) Ver texto completo en: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28027.htm>
- (xx) Ver texto completo en:
http://europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=es&type doc=COMfinal&an doc=2002&nu doc=595
- (xxi) Ver texto completo en: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l21219.htm>
- (xxii) *NOx SOx reduction*, Wärtsilä, página de Internet, ver texto completo y anexos en:
<http://www.wartsila.com/en.service,0,product,2806889628625418,16039377065716632,,3300.htm>
- (xxiii) *Emission control: Two-stroke low-speed diesel engines*, MAN B&W, página de Internet, ver artículo completo en: http://www.manbw.com/article_001417.html
- (xix) Indicator fact sheet Environmental Signals 2001. Chapter Air Pollution. European Environment Agency.- 2001
- (xix) Plan Municipal de Gestión de la Calidad del Aire. Ayuntamiento de Vitoria Gasteiz
- (xxii) Real Decreto 1073/2002 de 18 de Octubre sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo benceno y monóxido de carbono
- (xxiii) Ley 16/2002 de 1 de Julio de prevención y control integrados de la contaminación
- (xxiv) Programa de Aire puro para Europa: hacia una estrategia temática en pro de la calidad del aire. Comunicación de la Comisión COM/2001/6245 final
- (xxv) Estrategia de la UE para reducir las emisiones de los buques de navegación marítima. Comunicación de la Comisión al Parlamento y al Consejo COM/2002/0595 final, Volumen 1
- (xxvi) Nueva edición del informe sobre contaminación en Europa. Apheis, Septiembre de 2004.
- (xxvii) La incidencia de la nueva normativa medioambiental sobre los actuales procesos de tratamientos de superficies empleados en Reparaciones Navales. Revista de Ingeniería Naval nº 720.
- (xxviii) Convenio de Viena (1985).
- (xix) Protocolo de Montreal (1987). Quinta edición (2000) PNUM. Secretaría del Ozono. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- (xxx) Protocolo de Kyoto. 16/feb/1997.

-
- (xxxix) Reglamento CE nº 2037/2000 del parlamento Europeo y del Consejo de 29 de junio de 2000, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.
- (xxxix) United Nations Environment Programme. The ozone Secretariat Nairobi. Thursday, may 26, 2005. www.unep.ch/ozone/faq-science-sp.shtml.
- (xxxix) Estrategia de reducción de las emisiones de los buques de navegación marítima- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo - Estrategia de la UE para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima (COM, 2002, 595 final, volumen I).
- (xxxix) Anexo VI del MARPOL 73/78 (Protocolo de 1997) y enmiendas de Julio de 2005 (Sesión nº 53 del CPMM de la OMI).
- (xxxix) División Ambiente de Trabajo (DIAT) Número 03 Julio/Agosto- 99AIDIS.
- (xxxix) Manual de los Tratados Internacionales para la Protección de la Capa de Ozono.
- (xxxix) WEB de bomberos de Navarra:
<http://bomberosdenavarra.com/sua/tecnicos/t12/12.htm>
- (xxxix) Instalaciones frigoríficas:- R. J. Rapin.
- (xxxix) Enciclopedia de refrigeración.- Juan Antonio Ramírez.
- (xl) Chlorofluorocarbons.- encyclopedia.com
- (xli) Fluorocarbon legislation moves forward. Ecolibrium, May 2003. Melbourne.
- (xlii) HFC- 245fa: An overview of properties and applications.- Cesare Soffientini, Honeywell Fluorine Products, Italy; Gary J. Zyhowsky and Mark W. Spatz, Honeywell Speciality Chemicals, Búfalo, USA.
- (xliii) Convenio MARPOL. Anexo VI.
- (xliv) Circular MSC/Cir 585, de 16.04.1992
- (xliv) “Comunicado de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre Estrategia de la UE para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima (COM (2002) 595)”
- (xlvi) “Informe sobre la estrategia de la UE para reducir las emisiones atmosféricas desde buques” (COM(2002) 595 - 2003/2064(INI)).
- (xlvi) UE. Informe: “Measures to Reduce Emissions of VOCs during loading and unloading of ships in EU”. H.J. Rudd & Nikolas A. Hill (Agosto 2001).