

# **EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO**



# EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO

**Autor:**

María Laura Tilleró Pintos

**Tutor:**

Elena Seco

Madrid, junio de 2018

**ÍNDICE**

Resumen.....	5
Introducción.....	6
I. Problemática del cambio climático	
1.1 Planteamiento del problema.....	8
1.2 Justificación.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.4 Hipótesis.....	11
II. Calentamiento global y emisiones de CO <sub>2</sub> en el transporte marítimo	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	12
2.2 Marco teórico	
2.2.1 Emisiones contaminantes y de efecto invernadero.....	13
Zonas SECA. ....	14
2.2.2 El calentamiento global generado por el efecto invernadero.....	16
a. Causas del cambio climático.....	18
b. Gases de efecto invernadero.....	19
c. Efectos del cambio climático.....	27
2.2.3 Incidencia del transporte marítimo en el aumento de los gases de efecto invernadero.....	33

2.2.4	Protocolo de Kyoto.....	39
2.2.5	Esquemas de comercio de emisiones establecidos en el Protocolo de Kyoto.....	41
2.2.6	Fuga de carbono.....	44
2.2.7	Acuerdo de París.....	45
2.2.8	Avances regulatorios para la reducción de GEI derivados de la actividad marítima internacional .....	48
2.2.9	Efecto cruzado.....	54
2.2.10	Decisiones de la Unión Europea.....	55
2.2.11	Alternativas y medidas efectivas del sector del transporte marítimo para reducir las emisiones de GEI.....	56
III.	Conclusiones.....	77
IV.	Bibliografía.....	79

## Resumen

Este estudio analiza la problemática del cambio climático ya que en las últimas décadas, la preocupación entre miembros de la comunidad científica internacional ha aumentado por la alta concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. La industria naviera está en el punto de mira de la comunidad internacional y con el paso del tiempo hay más presión sobre el sector para que se establezcan medidas efectivas de reducción de emisiones ya que la actividad genera a día de hoy casi el 3% del CO<sub>2</sub> que va a la atmósfera, aunque en términos relativos (t-milla transportada) es el tipo de transporte más eficiente. Existen sectores cuyas emisiones están limitadas o reguladas mediante instrumentos de mercado o medidas adicionales, sin embargo la industria marítima todavía no está incluida en ninguno de los sistemas y las medidas que se aplican no son suficiente, es por esto, y en virtud del Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París, que tanto la Organización Marítima Internacional como los Estados deben identificar e implementar medidas que puedan ser adoptadas por la totalidad del sector, analizando el posible impacto de estas sobre aquellos Estados menos desarrollados y los pequeños Estados insulares en desarrollo. Hay estudios que sugieren que es viable reducir las emisiones provenientes del transporte marítimo internacional, ya que, además de las medidas basadas en instrumentos de mercado ya mencionadas, existen otras alternativas como: la creación de una tasa sobre el combustible y un fondo internacional de compensación, el uso de energías y combustibles alternativos (como el GNL, hidrógenos) y otras mejoras técnicas.

## **Introducción**

A continuación se analizará la problemática del cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero, y en particular de las emisiones antropógenas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Estas emisiones son potencialmente dañinas para la salud, la biodiversidad y el planeta, y tras años de investigaciones científicas que han demostrado sus posibles repercusiones se ha generado en la sociedad una preocupación por el medio ambiente y el convencimiento colectivo de que es necesario cambiar las conductas humanas antes de que el daño sea irreversible.

La comunidad marítima internacional ha asumido, mediante distintos instrumentos legales, el compromiso de estudiar medidas efectivas de mitigación que tengan en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible, y de esta manera seguir desarrollando una industria naviera saludable.

En el estudio se revisarán las causas y consecuencias del proceso de calentamiento global y sus implicaciones, así como la incidencia que tiene la actividad del transporte marítimo internacional en el mismo, que a día de hoy aporta casi el 3% de emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>. Con la intención de establecer un marco claro, se han estudiado también los Convenios Internacionales de Kyoto y París, a través de los cuales se han establecido compromisos, objetivos y niveles de ambición para la sociedad y para la industria marítima en particular en pro de reducir los gases de efecto invernadero. También se analizará brevemente el sistema de comercio como medida para compensar las emisiones. Por último, se analizarán las alternativas que tiene el transporte marítimo a día de hoy para disminuir sus emisiones de forma efectiva y se compartirán las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Esta investigación se ha realizado mediante el método de investigación documental: es decir, tal como su nombre lo indica, está

basada en fuentes de carácter documental de cualquier tipo, tales como las obtenidas a través de la web (en especial de organismos oficiales como la Organización Marítima Internacional, la Agencia Europea de Energía, la Comisión Europea y el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España), fuentes bibliográficas, consulta de libros y otras publicaciones como tesis, artículos o ensayos.

## I.

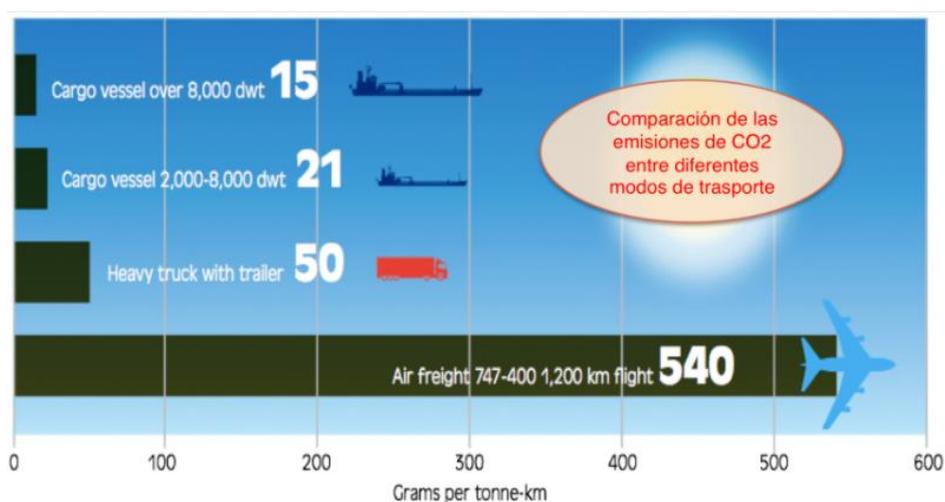
**Problemática del cambio climático****1.1 Planteamiento del problema**

CO<sub>2</sub> es la fórmula molecular para el dióxido de carbono: un gas atmosférico formado por un átomo de carbono y dos de oxígeno que fue identificado por primera vez como un gas distinto al aire durante el siglo XVII por el químico flamenco Jan Baptist van Helmont, que lo reconoció como un producto de la combustión tras quemar carbón. CO<sub>2</sub> es uno de los llamados gases de efecto invernadero porque contribuye al proceso por el cual la energía solar queda atrapada en la atmósfera de la tierra, calentándola.

En las últimas décadas, la preocupación entre miembros de la comunidad científica internacional ha aumentado por la alta concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. La industrialización de los últimos 250 años se tiene como responsable de los niveles –en aumento– de carbono en la atmósfera. El nerviosismo colectivo de la comunidad científica se basa en que el aumento en el grado de concentración de gases de efecto invernadero ha intensificado el efecto de calentamiento global de la Tierra en aproximadamente 0,6°C entre 1850 y 2000. El International Panel on Climate Change (IPCC en adelante, en español Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático), un organismo establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente con objeto de evaluar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para la comprensión del cambio climático, sus impactos potenciales y las opciones de adaptación y mitigación, estima que de continuar el ritmo actual de aumento en los grados de concentración de los gases de efecto invernadero en general, y del CO<sub>2</sub> en particular, la temperatura media de la Tierra subirá entre 1,8°C y 4°C para 2100, lo que conllevaría consecuencias catastróficas para el planeta. El cambio climático afecta a todos los países en todos los

continentes. Tiene un impacto negativo en la economía y la vida de las personas, las comunidades y los países. En un futuro las consecuencias serán todavía peores.

El transporte marítimo, por su parte, cumple un rol esencial en el desarrollo de las relaciones comerciales internacionales y es pilar fundamental para una economía global sostenible. Además es, en términos relativos, el medio de transporte más eficiente, como se puede ver a continuación:



Fuente: International Chamber of Shipping

Sin embargo, la industria naviera está en el punto de mira de la comunidad internacional y con el paso del tiempo hay más presión sobre el sector para que se establezcan medidas efectivas de reducción de emisiones ya que la actividad marítima figura entre las fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> que más rápido ha crecido durante el último decenio, generando a día de hoy casi el 3% del CO<sub>2</sub> que va a la atmósfera cada año, y se espera que estas emisiones aumenten significativamente en las próximas décadas: entre 50% y 250% para el año 2050, en función del estado de la futura economía global y esfuerzos que se realicen para desarrollar energías más sostenibles.

Se han alcanzado acuerdos internacionales en este sentido, sin embargo, sigue habiendo interrogantes ya que, aunque es posible llevar a cabo acciones que aumenten la eficiencia energética y que ayuden a disminuir el

ratio de crecimiento de las emisiones, todos los escenarios apuntan a que en 2050 las emisiones serán mayores que a día de hoy y no es posible saber qué medidas, o cuáles, serán suficiente para descarbonizar el sector del transporte marítimo.

## 1.2 Justificación

Actualmente existen sectores cuyas emisiones están limitadas o reguladas mediante instrumentos de mercado o medidas adicionales, sin embargo la industria marítima todavía no está incluida en ninguno de los sistemas existentes y aunque existe regulación en este sentido y medidas para mejorar la eficiencia energética, éstas no son suficientes para reducir de forma efectiva las emisiones de la flota mundial actual.

Es por esto que tanto la Organización Marítima Internacional (desde un punto de vista global y aunque no sea parte firmante del Acuerdo de París), así como los Estados deben identificar e implementar medidas que puedan ser adoptadas por la totalidad del sector, analizando el posible impacto de estas sobre aquellos Estados menos desarrollados y los pequeños Estados insulares en desarrollo. Las estrategias que se establezcan deben permitir la sostenibilidad económica del sector del transporte marítimo, así como dar respuesta a las demandas medioambientales globales, que indudablemente han cambiado en los últimos años.

La globalización y mayor conciencia social sobre el medioambiente han generado la necesidad de crear sistemas de transporte que continúen aportando al desarrollo de la economía, pero sin una reducción radical del impacto medioambiental que tiene el transporte, la sociedad no podrá desarrollarse de una forma sostenible. El transporte por vía marítima no es una excepción.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo general

Analizar el impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del transporte marítimo internacional, incluyendo sus efectos y riesgos así como posibles instrumentos de mitigación.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar cuál es la contribución del transporte marítimo internacional al aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre.
- Examinar los avances regulatorios cuyo objetivo es reducir la emisión de CO<sub>2</sub>.
- Identificar las alternativas más idóneas que tiene el sector para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin incurrir en costes económicos que perjudiquen su desarrollo.

### 1.4 Hipótesis

¿Podría el sector del transporte marítimo internacional adoptar un esquema de mercado para así reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular las de CO<sub>2</sub> derivadas de su actividad?

## II.

### Calentamiento global y emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte marítimo

## 2.1 Antecedentes de la investigación

- **Magnus S. Eide, 2009:** *los resultados de este estudio sugieren que las reducciones más eficientes están en el orden del 30% cuando se aplican medidas técnico-operacionales y en más del 50% cuando se incluye la reducción de velocidad de servicio. En resumen, los resultados obtenidos indican que existen medidas eficientes para abordar la reducción de emisiones provenientes del transporte marítimo internacional y que su regulación es viable por lo que se recomienda proseguir en el proceso regulatorio.*
  
- **David Mc Collum, Christopher Yang, 2009:** *el estudio analiza la viabilidad de reducir considerablemente en el largo plazo (50–80% por debajo de los niveles de 1990 para el año 2050) las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la industria del transporte en los EEUU. Se conciben distintos escenarios para analizar cómo se podría conseguir tal grado de descarbonización a través de la utilización de combustibles y tecnologías avanzadas, así como cambios en la conciencia y conducta social. Aunque estos escenarios y alternativas representan solo una parte de los futuros potenciales en los que reducciones radicales se podrían conseguir, aportan un sentido de la magnitud de los cambios necesarios en los sistemas de transporte actuales y la necesidad de medidas agresivas inmediatas si se quieren cumplir los objetivos a largo plazo.*
  
- **Kee-Hung Lai, Venus Y.H. Lun, Christina W.Y. Wong, T.C.E. Cheng, 2014:** *existe una preocupación creciente sobre los impactos adversos sobre el medio ambiente causados por el movimiento de cargas en el comercio internacional. Diferentes partes interesadas, desde cargadores y transportistas hasta organismos gubernamentales y comunidades internacionales, han expresado su preocupación por*

*los impactos ambientales provocados por las actividades relacionadas con el transporte marítimo. La contaminación en los procesos del transporte marítimo internacional ha tenido un impacto sobre el medio ambiente y acelerado el agotamiento de los recursos del planeta. Se espera que la situación empeore debido a la intensificación de la globalización comercial, que ha a su vez ha generado el crecimiento sostenido de la necesidad de transportar bienes por vía marítima. En pro de proteger el medio ambiente, muchas empresas navieras han tomado la iniciativa para encontrar formas de disminuir el daño ambiental de sus operaciones al tiempo que mejoran su desempeño. El objetivo de este estudio fue examinar la conciencia ambiental y las medidas ambientales tomadas en la industria del transporte marítimo. Propone un marco conceptual para evaluar prácticas de transporte marítimo más ecológicas y desarrolla varias propuestas que establecen las condiciones bajo las cuales las empresas navieras se comportarían de una manera ambientalmente responsable. El estudio concluye con las implicaciones administrativas y de política del marco conceptual para promover prácticas ecológicas en la industria del transporte marítimo.*

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Emisiones contaminantes y de efecto invernadero**

Para entender el efecto y alcance del CO<sub>2</sub> es importante distinguir previamente las emisiones de gases contaminantes de las emisiones de gases de efecto invernadero y cómo se genera este proceso.

Las primeras tienen efectos perjudiciales cerca del lugar donde son emitidas, bien sobre el medio ambiente o sobre la salud pública.

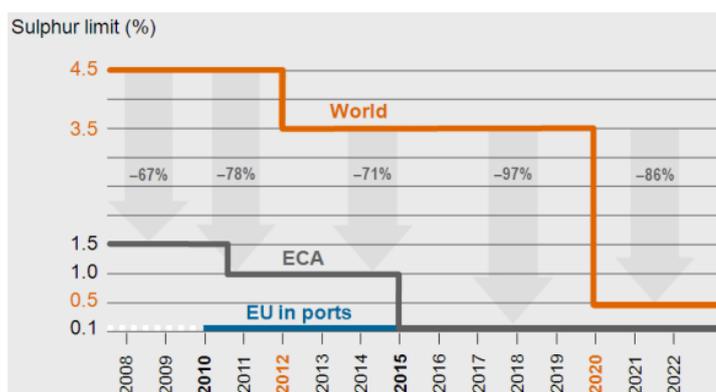
Son emisiones contaminantes del medio ambiente aquellas que combinadas con el vapor de las nubes se convierten en lluvias ácidas que pueden ser especialmente perjudiciales para los ecosistemas de suelos

ácidos, como los de la mayoría de los países del norte de Europa, también producen efectos dañinos a la salud pública, especialmente enfermedades del sistema respiratorio, estas emisiones son el SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y la Materia Particulada.

El Anexo VI del Convenio MARPOL, del que se hablará más adelante, fijó un plan de acción y un calendario para reducir el contenido de SO<sub>x</sub> en el combustible de los barcos navegando en zonas susceptibles (conocidas como zonas SECA –Sulphur Emission Control Area), la mayor preocupación en cuanto a emisiones hasta ahora en el sector marítimo, y en enero de 2015 entró en vigor la nueva regulación que limita ese contenido de 1% a 0.1%. Actualmente las zonas SECA se encuentran:

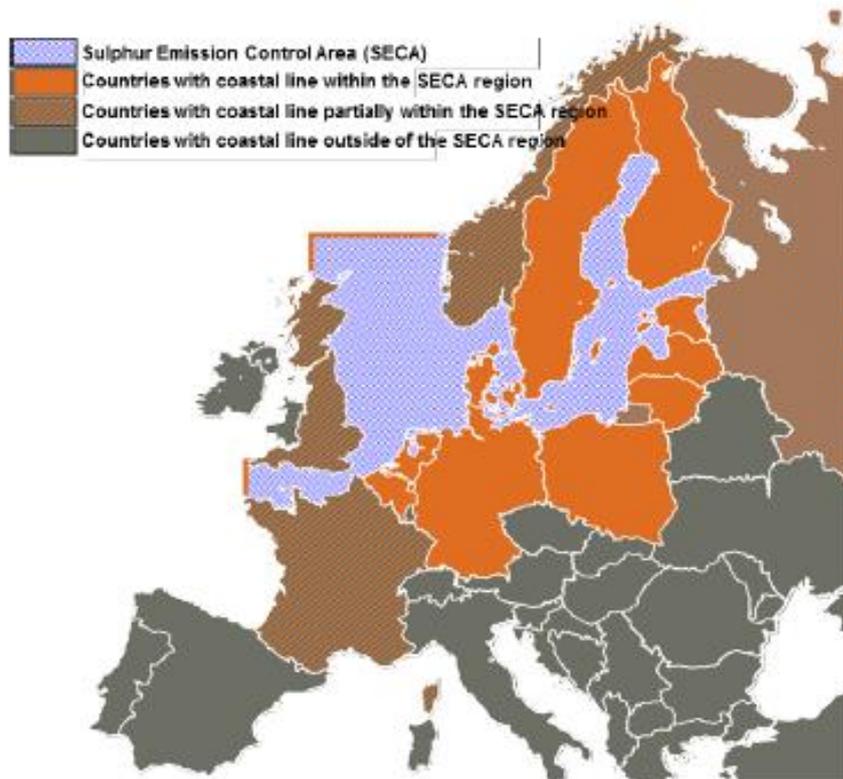
- En Europa: Mar Báltico, Mar del Norte y Canal de la Mancha.
- Las costas de Norteamérica (EEUU y Canadá).
- Las costas de Norteamérica que abarcan el Mar Caribe y Puerto Rico.

La figura mostrada a continuación contiene el calendario de reducción de contenido de azufre establecido en virtud del Anexo VI del Convenio MARPOL; el éxito en los hitos ya alcanzados en 2012 y 2015 denota el compromiso de los armadores y el sector del Refino para cumplir con los requerimientos regulatorios:



Fuente: Wärtsila

En la siguiente figura se muestra la zona SECA europea:



Fuente: Swedish Forest Industries Federation

Por su parte los efectos nocivos de las emisiones de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) no se producen localmente sino en las capas altas de la atmósfera, acumulando calor en el planeta y produciendo el cambio climático.

Aunque el contenido de azufre no está directamente correlacionado con las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, la producción de combustibles de menor contenido de azufre requiere mayor uso de energía en las refinerías y por lo tanto mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que sí existe un efecto cruzado entre ambos del que se hablará más adelante<sup>1</sup>.

### **2.2.2 El calentamiento global generado por el efecto invernadero**

<sup>1</sup> Carlier M., Seco E., (2017). *Las emisiones a la atmósfera del transporte marítimo y su regulación.*

El fenómeno del calentamiento global, también conocido como cambio climático, se refiere al aumento sostenido de la temperatura del planeta Tierra, atribuido al efecto invernadero causado por el aumento del grado de concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sistema climático y por lo tanto en la propia atmósfera terrestre.

Ahora bien, ¿qué es el efecto invernadero?

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar<sup>2</sup>. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala mundial un efecto similar al observado en un invernadero: como el CO<sub>2</sub> y otros gases capturan la radiación solar de manera semejante al vidrio de un invernadero, el calentamiento global producido de este modo se conoce como efecto invernadero.

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener una temperatura agradable en el planeta, al retener parte de la energía que proviene del sol. A través de las actividades humanas se liberan grandes cantidades de carbono a la atmósfera a un ritmo mayor de aquel con que los productores y el océano pueden absorberlo, éstas actividades han perturbado el presupuesto global del carbono, aumentando, en forma lenta pero continua el CO<sub>2</sub> en la atmósfera; propiciando cambios en el clima con consecuencias en el ascenso en el nivel del mar, cambios en las precipitaciones, desaparición de bosques, extinción de organismos y problemas para la agricultura.

La mayor parte de la energía que llega al planeta Tierra procede del Sol. Viene en forma de radiación electromagnética. El flujo de energía solar que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, llamada constante

---

<sup>2</sup> Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (2018). *Efecto Invernadero*.

solar. Su valor es de alrededor de  $1,4 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  (1.354 Watts por metro cuadrado según unos autores,  $1.370 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  según otros), lo que significa que a  $1 \text{ m}^2$  situado en la parte externa de la atmósfera, perpendicular a la línea que une la Tierra al Sol, le llegan algo menos que  $1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$  cada segundo.

Para calcular la cantidad media de energía solar que llega a nuestro planeta por metro cuadrado de superficie, hay que multiplicar la anterior por toda el área del círculo de la Tierra y dividirlo por toda la superficie de la Tierra lo que da un valor de  $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  que es lo que se suele llamar constante solar media

En un período suficientemente largo el sistema climático debe estar en equilibrio, la radiación solar entrante en la atmósfera está compensada por la radiación saliente. Pues si la radiación entrante fuese mayor que la radiación saliente se produciría un calentamiento y lo contrario produciría un enfriamiento. Por tanto, en equilibrio, la cantidad de radiación solar entrante en la atmósfera debe ser igual a la radiación solar reflejada saliente más la radiación infrarroja térmica saliente. Toda alteración de este balance de radiación, ya sea por causas naturales u originado por el hombre (antropógeno), es un forzamiento radiativo y supone un cambio de clima y del tiempo asociado.

Los flujos de energía entrante y saliente interaccionan en el sistema climático ocasionando muchos fenómenos tanto en la atmósfera, como en el océano o en la tierra. Así la radiación entrante solar se puede dispersar en la atmósfera o ser reflejada por las nubes y los aerosoles. La superficie terrestre puede reflejar o absorber la energía solar que le llega. La energía solar de onda corta se transforma en la Tierra en calor. Esa energía no se disipa, se encuentra como calor sensible o calor latente, se puede almacenar durante algún tiempo, transportarse en varias formas, dando lugar a una gran variedad de fenómenos turbulentos en la atmósfera o en el océano. Finalmente vuelve a ser emitida a la atmósfera como energía radiante de onda larga.

Un proceso importante del balance de calor es el efecto albedo, por el que algunos objetos reflejan más energía solar que otros. Los objetos de colores claros, como las nubes o las superficies nevadas, reflejan más energía, mientras que los objetos oscuros absorben más energía solar que la que reflejan. Otro ejemplo de estos procesos es la energía solar que actúa en los océanos, la mayor parte se consume en la evaporación del agua de mar, luego esta energía es liberada en la atmósfera cuando el vapor de agua se condensa en lluvia.

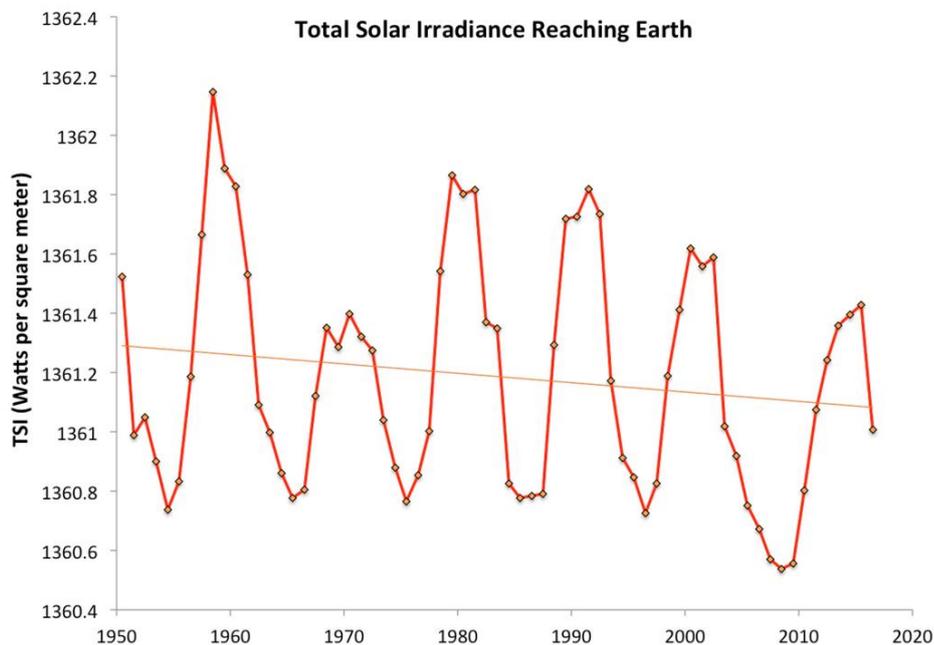
La Tierra, como todo cuerpo caliente superior al cero absoluto, emite radiación térmica, pero al ser su temperatura mucho menor que la solar, emite radiación infrarroja por ser un cuerpo negro. La radiación emitida depende de la temperatura del cuerpo. La energía infrarroja emitida por la Tierra es atrapada en su mayor parte en la atmósfera y reenviada de nuevo a la Tierra. Este fenómeno se llama Efecto Invernadero y garantiza las temperaturas templadas del planeta.

En resumen, ha habido cambios en el equilibrio y la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los procesos atmosféricos predominantes. De hecho, aunque una sola variable pudiera no resultar convincente, el análisis conjunto de distintos indicadores apunta a que la Tierra se ha calentando desde finales del siglo XIX.

#### **a. Causas del cambio climático**

Aunque el clima no ha sido constante durante la historia, entre finales del siglo XX y principios del XXI se ha presentado uno de los periodos más cálidos, con la temperatura media de la Tierra más alta de los últimos 130.000 años. El año 2017, por ejemplo, presentó las temperaturas más altas registradas hasta el momento con un 0.94°C por encima de la media del periodo 1950-1980, superando a 2014, 2015 y 2016, cada uno de los cuales rompió los récords establecidos en 2010 y 2005 –que fueron incluso más calientes que 1998, un año inusualmente caliente debido al fenómeno

de “El Niño” y a las fuertes ondas solares que alcanzaban la Tierra en aquel momento, con niveles que fueron incluso mayores a los de 2017, como se puede ver a continuación:



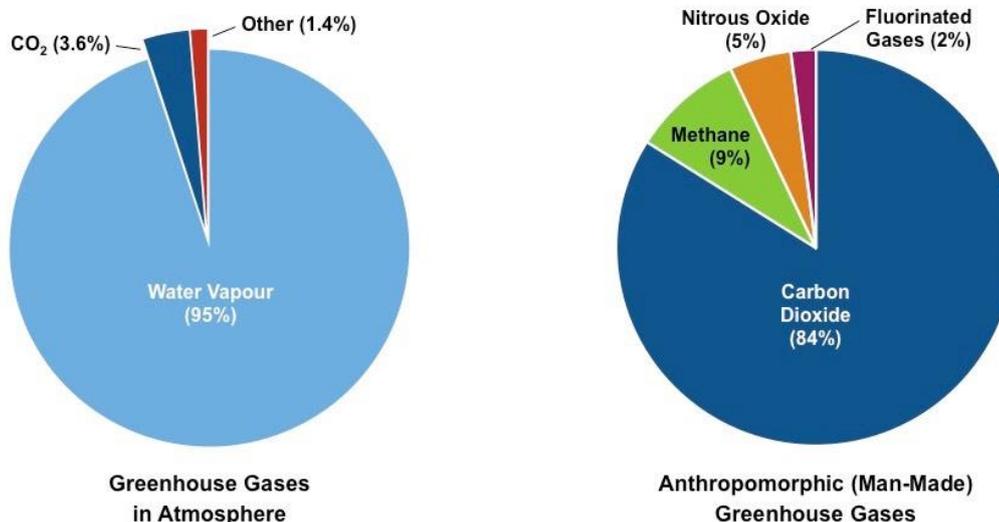
Fuente: Laboratory for Atmospheric and Space Physics Solar Irradiance Data Center - University of Colorado

### **b. Gases de efecto invernadero**

Son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero.

El vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), y ozono (O<sub>3</sub>) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Además existen en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal. Además del CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, y CH<sub>4</sub>, el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el

hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC).



Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (esta es la radiación infrarroja, la cual, es eminentemente térmica) que provienen del sol y la que refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio, controlando el flujo de energía natural a través del sistema climático.

El clima debe de algún modo ajustarse a los incrementos en las concentraciones de los GEI, que genera un aumento de la radiación infrarroja que es absorbida por los GEI en la capa inferior de la atmósfera (la troposfera), para mantener el balance energético de la misma. Este ajuste genera un cambio climático que se manifiesta en un aumento de la temperatura global (referido como calentamiento global) que generará un aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como tormentas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña), y que presentará una variedad de impactos sobre diferentes componentes, tales como la agricultura, los recursos hídricos, los ecosistemas, la salud humana, entre otros.

A continuación se presentan los distintos GEI y sus fuentes:

Gas de Efecto Invernadero	Fuente	Actividad
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	Quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural)	Transporte y generación térmica Forestal Agricultura Incendios Forestales
	Deforestación	
	Cambio de uso del suelo	
	Quema de bosques	
	Transporte y generación térmica	
	Forestal	
	Agricultura	
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	Botaderos de basura	Descomposición de desechos orgánicos Ganadera Petrolera
	Excrementos de animales	
	Gas natural	
	Descomposición de desechos orgánicos	
	Ganadera	
	Petrolera	
<b>Oxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)</b>	Combustión de automóviles	Transporte Agricultura Industrias Quema de desechos sólidos
	Fertilizantes	
	Alimento de ganado	
	Fertilización nitrogenada	
	Estiércol	
	Desechos sólidos	
<b>Carburos Hidrofluorados (HFC) y Carbonos Perfluorados (PFC)</b>	Sistemas de refrigeración	Industria frigorífica
	Industria frigorífica	
<b>Clorofluorocarbonos (CFC)</b>	Sistemas de refrigeración	Sector Industrial
	Plástica	
	Aerosoles	
	Electrónica	
<b>Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)</b>	Sector Industrial	Sistema interconectado de redes eléctricas Extintores de incendios
	Aislante, eléctrico y estabilizante	
	Interruptores eléctricos (breakers)	
	Transformadores	
	Sistema interconectado de redes eléctricas	
Extintores de incendios		

Fuente: Gobierno de Ecuador

### Contribución de cada gas al Efecto Invernadero<sup>3</sup>:

- Vapor de agua: debido a que su concentración viene determinada internamente por el sistema climático y no se ve afectado por fuentes o sumideros de origen antropogénico, no se incluye en los inventarios de gases de efecto invernadero. Sin embargo, contribuye fuertemente al efecto invernadero. Se estima que produce un calentamiento de unos 20°C. El calentamiento de las capas bajas de la atmósfera

<sup>3</sup> ECHAGÜE G., TORREGO, A., (2000): *Cambio climático, hacia un nuevo modelo energético*, Madrid, Colegio Oficial de Físicos.

aumenta la evaporación, lo que a su vez contribuye a incrementar la temperatura (retroalimentación positiva).

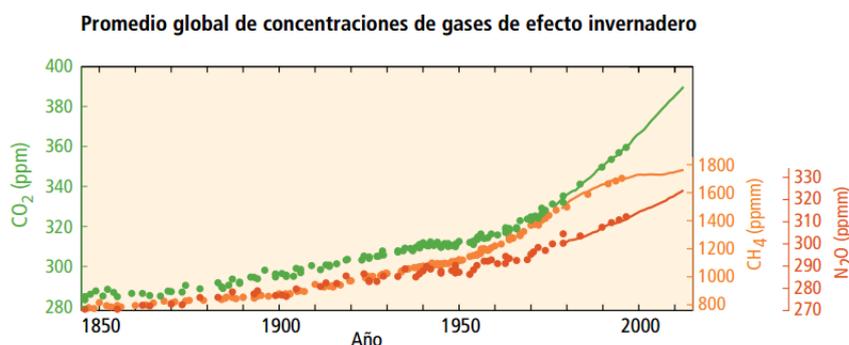
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): tal como se comentó antes, se trata del segundo compuesto que más contribuye al efecto invernadero, por ser el más abundante en la composición de la atmósfera. Se calcula que su presencia en la atmósfera supone un calentamiento terrestre del orden de 15°C. Sus principales fuentes naturales son los océanos, volcanes, incendios, así como la respiración de los seres vivos o la descomposición de materia orgánica. Como fuentes antropogénicas encontramos la utilización de combustibles fósiles (producción de energía, transporte...), los procesos industriales y la deforestación. La fotosíntesis de las plantas actúa como su principal sumidero junto con los océanos (que a su vez constituyen la principal fuente de origen natural). Su período de residencia en la atmósfera se evalúa en más de 100 años.
  
- Metano (CH<sub>4</sub>): constituye el tercer gas de invernadero más importante. En la naturaleza las fuentes más importantes son los incendios, los océanos y la fermentación anaeróbica que se produce en pantanos, en la digestión de los rumiantes, etc. De origen antropogénico podemos citar los incendios, la agricultura (por ejemplo en los cultivos de arroz) y la ganadería, así como las emisiones fugitivas de combustibles o los escapes de biogás en los vertederos de residuos. Su principal sumidero es el radical oxhidrilo, presente en la atmósfera; se oxida y da lugar a CO<sub>2</sub> y vapor de agua, dos gases de efecto invernadero importantes. Su permanencia en la atmósfera es de unos 11 años.
  
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O): únicamente se conocen las fuentes de este compuesto a nivel cualitativo, tanto las naturales (emisiones de suelos y océanos, desnitrificación de suelos, tormentas y volcanes) como las

antropogénicas (utilización de combustibles fósiles, fertilizantes nitrogenados, procesos industriales, deforestación...). El N<sub>2</sub>O es fuente primaria de otros óxidos de nitrógeno, y da origen a nieblas de contaminación fotoquímica. Los sumideros más conocidos son los procesos de fotólisis en la estratosfera. Permanencia en la atmósfera: unos 130 años.

- Ozono (O<sub>3</sub>) troposférico: es un contaminante secundario, que se forma en presencia de la luz del Sol a partir de las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO, COVs, etc... teniendo una creciente importancia en las ciudades debido a las emisiones de los automóviles. Absorbe la radiación infrarroja y ultravioleta. De este modo, el ozono presente en las capas altas de la atmósfera (conocido como ozono estratosférico) es beneficioso para la vida, ya que nos protege de los rayos UV, pero cuando se encuentra en las capas bajas de la atmósfera (ozono troposférico) absorbe la radiación infrarroja procedente de la tierra dando lugar al efecto invernadero. La falta de observaciones adecuadas impide cuantificar el efecto sobre el clima de las variaciones de O<sub>3</sub> troposférico.
- Clorofluorcarbonos (CFCs): compuestos de origen exclusivamente antropogénico, con una permanencia en la atmósfera muy larga debido a su estabilidad química. Aunque la concentración de estos compuestos en la atmósfera es baja, poseen un gran poder como gases de efecto invernadero y además causan la destrucción del ozono estratosférico. Se utilizan en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, propulsores de aerosoles, extintores de espuma, etc., y sus fuentes son conocidas cuantitativamente. No se conocen sumideros. Se destruyen en la estratosfera mediante complejas reacciones fotoquímicas.

- Hidrofluorcarburos (HFCs) e Hidroclorofluorcarburos (HCFCs): compuestos artificiales creados como sustitutos de los CFCs para evitar el daño a la capa de ozono. Sin embargo, su comportamiento como gases de efecto invernadero es similar a los CFCs.
- Perfluorcarburos (PFCs): se utilizan en procesos industriales como la producción de aluminio y la fabricación de semiconductores. Su permanencia en la atmósfera es extremadamente alta.
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>): se utiliza como aislante de circuitos eléctricos, gas trazador, para la fabricación de magnesio. Su elevado potencial de calentamiento atmosférico y larguísima permanencia en la atmósfera, lo convierten en un compuesto a tener en cuenta pese a su escasa producción.

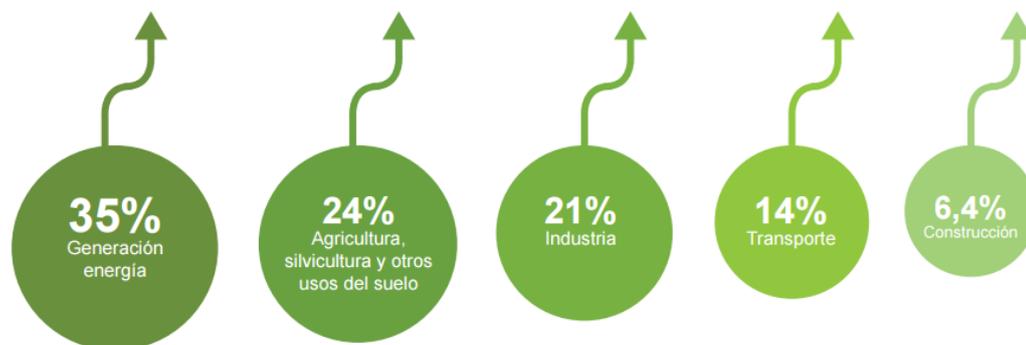
Las emisiones de GEI generadas por el hombre han aumentado desde la revolución industrial, impulsadas en gran medida por el mayor consumo de carbón debido al crecimiento económico y demográfico:



Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España

El 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera entre 1750 y 2011 fueron absorbidas por la tierra y por los océanos. Los océanos han absorbido alrededor del 30% del CO<sub>2</sub> emitido provocando su acidificación.

Desde una perspectiva sectorial, en 2010<sup>4</sup> el 35% de las emisiones de GEI fueron originadas por el sector de la energía, el 24% por deforestación y otros cambios en el uso de suelo, el 21% por la industria, el 14% por el transporte y el 6,4% por el sector de la construcción y el 3% a los residuos:



Si las emisiones derivadas de la producción de electricidad y calor se asignan al sector que finalmente consume estas formas de energía, la contribución de los sectores industrial y edificación se incrementa hasta el 31% y el 19% respectivamente.

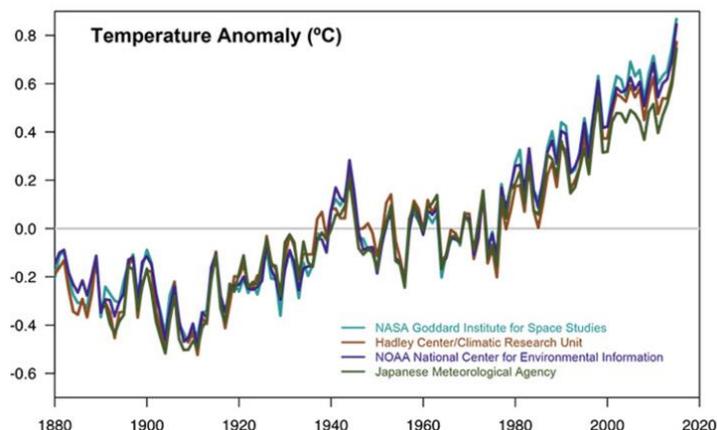
Es probable que el aumento de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero por las actividades anteriormente descritas haya incidido de forma dominante en el calentamiento global observado desde mediados del siglo XX. Se podría afirmar, por lo tanto, que la influencia humana en el sistema climático es clara.<sup>5</sup>

A día de hoy continua habiendo agentes que dan menor importancia a los efectos del cambio climático (como el Departamento de Energía de los Estados Unidos) pero la comunidad científica junto con múltiples órganos supra-gubernamentales coinciden en que, basados en hechos climáticos sin precedentes durante los últimos 800.000 años, el cambio climático es un hecho inequívoco que ha contribuido al aumento de la temperatura media de la atmósfera y de los océanos, a la disminución de las cantidades de

<sup>4</sup> IPCC (2014). *Cambio climático, mitigación del cambio climático*

<sup>5</sup> Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental (2016). *Informe de síntesis sobre el cambio climático*.

permafrost, de nieve y de hielo, y al aumento del nivel del mar; asimismo, coinciden en que es un fenómeno que está exacerbando la vulnerabilidad de los asentamientos humanos a los desastres, especialmente en los países en desarrollo.



Fuente: NASA

La figura anterior muestra datos de temperatura de cuatro instituciones científicas internacionales: NASA's Goddard Institute for Space Studies, NOAA National Climatic Data Center, Met Office Hadley Centre/Climatic Research Unit y la Agencia de Meteorología de Japón. Todas indican un aumento pronunciado de temperaturas en las últimas décadas, especialmente de la última –la más caliente desde que se tienen registros.

Investigaciones científicas alrededor del mundo<sup>6</sup> demuestran que el cambio climático es una realidad, y estudios rigurosos indican que los gases de efecto invernadero emitidos por la actividad humana son el principal factor que lo genera.

Estas conclusiones se basan en resultados de múltiples líneas independientes de investigación y en la falta de pruebas contrarias consistentes. Existen evidencias sólidas para considerar que el cambio climático actual tendrá un gran impacto en la sociedad, incluyendo daños a la economía global y el medio ambiente. El impacto del cambio climático

<sup>6</sup> American Association for the Advancement of Science (2009). *Carta al senado norteamericano*.

incluiría aumentos en el nivel del mar en estados costes, eventos climáticos extremos (sequías, olas de calor, incendios) y desequilibrio de los ecosistemas. Se espera también que la gravedad del impacto del cambio climático siga en aumento en las próximas décadas.

Para evitar las consecuencias más graves del cambio climático, los gases de efecto invernadero se deben reducir de forma definitiva. Asimismo, se deben tomar medidas para mitigar las consecuencias del daño ya causado; incluyendo mejorar la manera en la que se diseñan los edificios e infraestructuras, manejar los recursos naturales y el agua de una forma sostenible, cambiar los hábitos de la agricultura y mejorar la capacidad de respuesta a las tormentas, inundaciones, incendios y olas de calor.

Vale decir que, como señala Y. Franco (2003)<sup>7</sup> aunque parece probado que un aumento en la concentración atmosférica de los gases que lo causan refuerza el efecto invernadero, no se puede estimar con precisión la magnitud de esta influencia sobre el clima, por lo tanto, no se puede calibrar con certeza el riesgo en que se incurre si no se frena el ritmo de emisión a la atmósfera o se aceleran los procesos de absorción de gases de efecto invernadero. En segundo término, sigue abierto el debate respecto a la cuantificación precisa de la magnitud de la responsabilidad que tienen las actividades humanas en las alteraciones climáticas que se están produciendo, es decir, las cuestiones controvertidas se sitúan en el ámbito de la atribución de responsabilidad en el cambio climático a la influencia antropogénica y en la detección suficientemente precisa de la magnitud de sus efectos sobre la estabilidad climática (Forest, Stone y Jacoby, 2000).

### **c. Efectos del cambio climático**

Los impactos del cambio climático han alcanzado a los ecosistemas, los océanos, etc., poniendo en manifiesto la susceptibilidad de los sistemas

---

<sup>7</sup> Franco Y., (2003). *El comercio de emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea*.

naturales y humanos a las variaciones del clima. Entre los impactos atribuibles al cambio climático están:

- Desplazamiento de numerosas especies hacia latitudes más altas: el calor excesivo en el Ecuador está haciendo que los biomas y sus especies se desplacen a una media de seis kilómetros por decenio hacia el Norte (y seis metros hacia mayores altitudes)<sup>8</sup>. Es por eso que cada vez es más frecuente encontrar especies autóctonas del Sur en determinadas zonas del Norte, especialmente aves como las golondrinas.
- Cambios en los patrones de interacción entre especies y desaparición de especies.
- i. Efectos negativos en la producción agrícola: la flora y los ciclos biológicos anuales (fenológicos) de muchas especies comestibles como el trigo o la soja se adelantan en su maduración diez horas cada año y el tiempo de siembra también se desplaza; es decir: cada año se pierden unas cuantas horas de cultivo.
- Aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos y climáticos extremos:
  - Tormentas más intensas: El hecho de que las temperaturas sean más altas hace que las lluvias sean menos frecuentes, pero que sean más intensas; por tanto, el nivel de inundaciones y su gravedad también irán en aumento.
  - Aumento de los huracanes (y de su potencia): 2017 fue el año con más huracanes registrados en 30 años según la NOAA. Además, cada vez tienen más fuerza y duración. Durante 2017 una tanda de huracanes desastrosos barrió el

---

<sup>8</sup> Parmesan C., Yohe G., (2003). *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems.*

Caribe, entre ellos Nate, Harvey, María o José, pero Irma mantuvo la categoría 5 (máximo nivel en huracanes de la escala Saffir-Simpson) durante más de tres días seguidos. Además, alcanzó vientos de 295 km/h en algunos puntos (por ejemplo, el huracán Andrew (1992) o el Katrina (2005) estuvieron en categoría 5 durante tan solo horas). La fuerza de Irma incluso llegó a valorar la posibilidad de crear una categoría 6, aunque a día de hoy no hay clasificación por encima de “catastrófico”. Básicamente, el huracán Irma se encontró un Atlántico excepcionalmente caliente. El Atlántico es un sistema realmente complejo de reparto de energía (calor) a escala planetaria. Las corrientes del Atlántico Norte y del Atlántico Sur ayudan a que el frío de los polos llegue al Ecuador, reduciendo la temperatura media de la superficie del agua. Esta temperatura es crítica, porque un océano caliente ayudará a que los huracanes ganen fuerza.

- Aumento de las temperaturas cálidas extremas: es probable que las olas de calor aumenten. Asimismo, la probabilidad de un calor extremo diario en un mundo con 2°C de calentamiento es dos veces superior al de un mundo con 1.5°C más cálido, y 5 veces mayor que en las condiciones actuales<sup>9</sup>.
- Disminución de las temperaturas frías extremas:
  - Derretimiento de los glaciares y aumento del nivel del mar: los océanos con temperaturas más altas derriten el hielo de los casquetes polares, lo que implica se vierte más agua en los océanos y que por lo tanto aumenta el nivel del mar. Los efectos de alcance global incluyen cambios sustanciales en

---

<sup>9</sup> Fischer E., Knutti R., (2015). *Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes.*

la disponibilidad de agua para beber y para riego, así como un aumento de los niveles del mar, cambios en los patrones de circulación del agua en los océanos, y la amenaza a la supervivencia de especies de flora y fauna que viven en dichos ecosistemas. Además, podrían desaparecer islas y ciudades costeras podrían ver reducida su distancia a la costa de forma significativa.

- Disminución de los niveles de permafrost: el permafrost es un tipo de suelo helado sobre el que buena parte de las infraestructuras humanas en países como Rusia, Canadá y China están construidas. Es un terreno que se funde y licua lentamente y hace que en algunas zonas los trenes hayan dejado de circular a gran velocidad porque las vías (que deberían estar rectas) se curvan. Lo que ocurre es que el metano almacenado durante milenios se está fundiendo y al pesar menos que el aire tiende a subir, formando burbujas que quedan atrapadas en el suelo y que además, pueden liberar enfermedades mortales como antiguas cepas de ántrax. En 1941 se detectó por última vez ántrax en la región rusa de Yamalia y tras su erradicación, solo existía bajo el permafrost, pero el cambio climático lo está liberando y a mediados de 2016, se dio a conocer la primera muerte humana por carbunco (un tipo de ántrax).
  
- Aumento de enfermedades: la morbilidad y la mortalidad relacionadas con el aumento de las temperaturas afectan hoy a todo el planeta, pero la IPCC alerta de que los efectos del cambio climático exacerbarán las enfermedades ya existentes y las extenderán a zonas del globo a las que aún no afectan

- Enfermedades infecciosas: un cambio de temperatura de varios grados puede hacer que la zona templada se haga más acogedora a la propagación de determinadas enfermedades. De esta manera, pueden empezar a darse casos de mal de Chagas, el dengue u otras enfermedades que están olvidadas en los países industrializados y en zonas que tradicionalmente han sido más frías y por otro lado, tal como señala la Agencia Europea de Medio Ambiente<sup>10</sup>, la propagación de ciertas especies de garrapatas, del mosquito tigre asiático y de otros portadores de enfermedades debido a temperaturas más uniformes en el planeta, incrementa el riesgo de contraer la enfermedad de Lyme, la encefalitis transmitida por garrapatas, la infección por el virus del Nilo Occidental, el dengue, la fiebre chikungunya y la leishmaniasis.
- Enfermedades pulmonares: el cambio climático aumenta la presencia de alérgenos en el ambiente, lo que dispara enfermedades respiratorias como el asma y la rinitis alérgica, conjuntivitis y afecciones cutáneas. Esto debido a que con el tiempo el cambio climático cambiará la distribución y la cantidad de polen en las áreas urbanas, alterará la distribución espacial y temporal de muchas especies de plantas que producen alergias y modificará los períodos y la duración de las temporadas con mayores niveles de polen. Una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera estimulará el crecimiento de las plantas, lo que unido a condiciones climatológicas extremas, como sequías y vientos muy fuertes, causarían una dispersión de alérgenos, como polen y esporas, hacia nuevas regiones.

---

<sup>10</sup> Agencia Europea de Medio Ambiente (2016). *Climate Change, impacts and vulnerability in Europe*.

También los incendios forestales se incrementarán como resultado de las olas de calor y las sequías e impactarán negativamente en la calidad del aire, liberando partículas en suspensión y otras sustancias tóxicas que pueden afectar a grandes poblaciones durante días o meses.

- El cambio climático debilitará la seguridad alimentaria: el cambio climático pone en peligro la producción de alimentos tan básicos como el trigo, y esto significa que cientos de miles de personas cuya vida depende de sus cultivos están en riesgo de perderlo todo. Y no solo eso: si los cultivos escasean, los precios se disparan.

En todos los escenarios de emisiones evaluados por la comunidad científica se espera un aumento de las temperaturas a lo largo del siglo XXI. Como comentado, es muy probable que las olas de calor se produzcan con más frecuencia y que sean de más duración, y que los eventos extremos de precipitación sean más intensos y frecuentes en muchas regiones. El océano continuará calentándose y acidificándose y el nivel medio global del mar continuará aumentando.

El cambio climático amplificará los riesgos existentes y creará nuevos riesgos para los sistemas naturales y humanos, así como para la economía. Los riesgos se distribuirán de forma desigual y, en general, serán mayores para las personas y las comunidades más desfavorecidas, independientemente del nivel de desarrollo de los países.

La emisión continua de gases de efecto invernadero provocará un mayor calentamiento y cambios a largo plazo en todos los componentes del sistema climático, aumentando la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas.

La limitación del calentamiento requerirá reducciones sustanciales y sostenidas en las emisiones de gases de efecto invernadero que, junto con la adaptación, pueden reducir los riesgos del cambio climático.

La redistribución global de las especies marinas y la reducción de la biodiversidad marina en regiones sensibles, causadas por el cambio climático proyectado para la mitad del siglo XXI y periodos posteriores, supondrán un desafío para el mantenimiento de la productividad en los recursos pesqueros y otros servicios proporcionados por los ecosistemas.

Con un aumento de las temperaturas igual o superior a 2°C respecto a los niveles de finales del siglo XX, se prevén impactos negativos en las regiones tropicales y templadas sobre las cosechas de trigo, arroz y maíz, aunque, excepcionalmente, en alguna zona concreta la producción pueda aumentar.

Aumentos de la temperatura global superiores a ~4°C, combinados con un aumento de la demanda de alimentos, plantearían grandes riesgos para la seguridad alimentaria a nivel mundial. Las proyecciones indican que el cambio climático hará que se reduzcan los recursos de aguas superficiales y subterráneas en la mayoría de regiones subtropicales secas, lo cual intensificará la competencia por el agua entre los sectores.

### **2.2.3 Incidencia del transporte marítimo en el aumento de los gases de efecto invernadero**

El transporte marítimo obtiene su energía de la combustión de hidrocarburos fósiles. El resultado es de 9.600 millones de toneladas transportadas (el 90% del transporte anual de mercancías) y unas emisiones de 950MM de toneladas de CO<sub>2</sub>. Por su origen, se trata de un carbono que no estaba en el ciclo natural sino enterrado en el subsuelo y que, por tanto, a falta de nuevos sumideros, acrecienta el ciclo del carbono en la atmósfera aumentando al calentamiento global.

Además, afecta a la calidad del aire que se respira en las ciudades portuarias. Los barcos, especialmente los cruceros, mantienen su necesidad de energía eléctrica mientras permanecen atracados. Esto también lo consiguen moviendo alternadores con motores de combustión interna.

Cuando la calidad del combustible es deficiente se producen altas emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas.

A continuación se pueden observar algunas estimaciones del consumo de combustibles, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el crecimiento proyectado<sup>11</sup>:

	Año de base	CO <sub>2</sub>	Combustible	Porcentaje de la quema de combustible mundial <sup>b</sup>	Crecimiento proyectado
		Millones de toneladas			
Estudio actualizado de la OMI (2008)	2007	843	277	3,1	En un factor de 1,1 a 1,3 para 2020, y de 2,4 a 3 para 2050
Grupo de Expertos de la OMI (2007)	2007	1.120	369	4,1	+ 30% para 2020
Estudio de GEI de la OMI (2000)	1996	419,3	138	1,6	-
Agencia Internacional de Energía (2005)	2005	543	214	2,0	-
TRT Trasporti e Territorio	2006	1.003	N.A.	3,7	-
Endressen et al., 2007 <sup>b</sup>	2002	634	200	2,3	+ 100 a 200% para 2050
Eide et al., 2007 <sup>b</sup>	2004	704	220	2,6	+ 100 a 200% para 2050
Eide et al., 2007 <sup>b</sup>	2006	800	350	2,9	+ 100 a 200% para 2050
Corbett et al., 2003 <sup>b</sup>	2001	912	289	3,1	-

Para el año 2015 las emisiones totales derivadas del transporte marítimo fueron responsables del 2.6% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub><sup>12</sup> provenientes del uso de combustibles fósiles y otros procesos industriales – de este número, el 87% se componía de buques dedicados al tráfico internacional.

Si fuese un país, el transporte marítimo internacional sería el 6º país que más emisiones de CO<sub>2</sub> produciría, justo por delante de Alemania (Olivier, Janssens-Maenhout, Muntean y Peters, 2016).

Ese porcentaje de 2.6% representa 932 millones de toneladas en un año, un aumento de 2.4% con respecto a 2013 (cuando las emisiones fueron de 910 millones de toneladas) aunque todavía por debajo del pico pre-crisis en 2008, de 1.135 millones de toneladas.

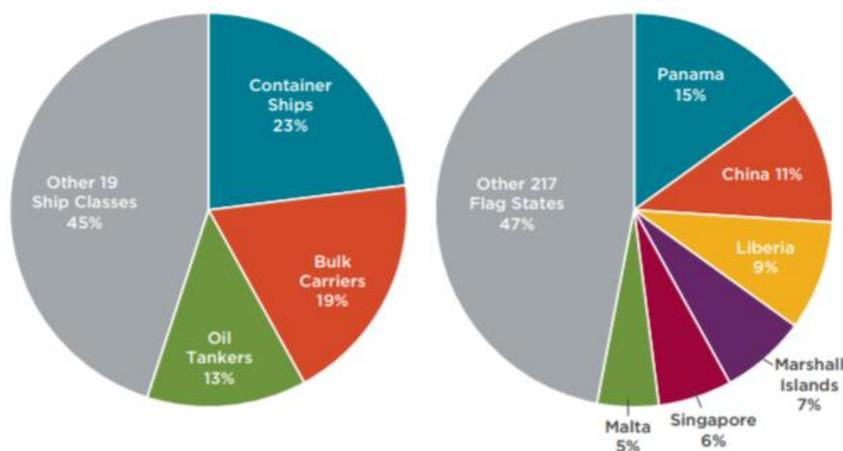
Las emisiones que provienen del mundo marítimo están bastante concentradas en pocas clases de buques y pabellones: el 55% de las

<sup>11</sup> Merida Galindo L. (2016). *Transporte Marítimo y el reto del cambio climático*.

<sup>12</sup> International Council on Clean Transportation (2017). *Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping*.

emisiones proviene de buques de gran tamaño: portacontenedores (23%), buques de carga seca (19%) y tanqueros (13%). Juntos estos constituyen el 84% de la flota marítima mundial. En cuanto a pabellones, el 15% de las emisiones son de bandera panameña, 11% de China, 9% de Liberia, 7% de las Islas Marshall, 6% de Singapur y 5% de Malta –por supuesto, en línea con el hecho de que estos son los países con mayores flotas registradas.

Esto se puede apreciar fácilmente en la siguiente imagen:



Fuente: ICCT

Aunque muchas nuevas construcciones son operativamente más eficientes desde el punto de vista de las emisiones, el número total de emisiones de CO<sub>2</sub> ha aumentado –esto quiere decir que las mayores distancias recorridas por las particularidades de la demanda tienen un peso superior que las mejoras en eficiencia, o que visto desde otro punto de vista: las mejoras técnicas de los buques no bastan para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota actual, y la única forma de controlarlo sin restringir la demanda sería reduciendo el contenido de CO<sub>2</sub> en los combustibles.

El hecho de que los sectores de buques portacontenedores y buques tanque hayan aumentado sus velocidades de servicio (en un 11 y 4% respectivamente) y por lo tanto recorrido distancias más largas en menos tiempo implica que han consumido más combustible y emitido más CO<sub>2</sub> a la atmósfera (aunque en términos de eficiencia ambas clases hayan mejorado) –los portacontenedores aumentaron un 18% y los buques tanque un 1% si

se comparan las emisiones de 2015 con el periodo comprendido entre 2013 hasta ese año.

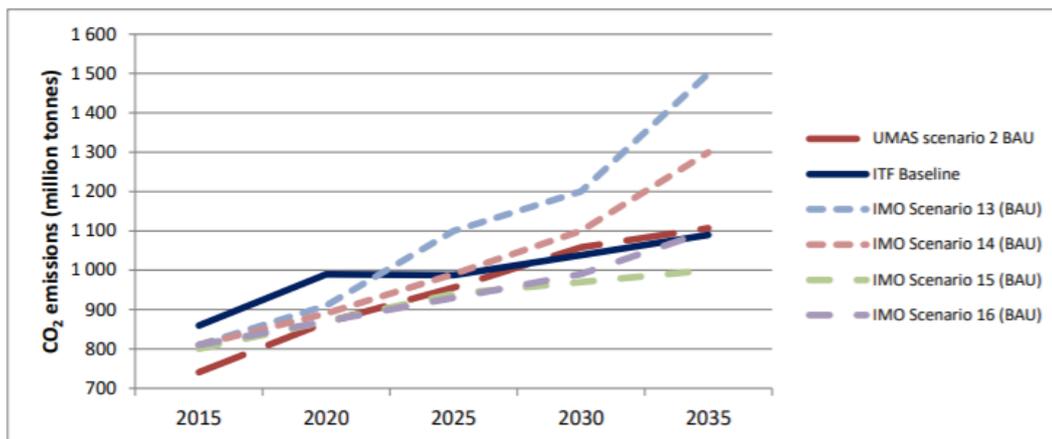
Esto podría significar que, en caso de que la demanda siga en aumento y las flotas aumenten velocidades para poder responder a la misma, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> derivadas del transporte marítimo seguirían aumentando.

Además de la velocidad, hay varios factores que también contribuyen al aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte marítimo (incluyendo la flota mundial, las horas de operación, el peso muerto, los motores auxiliares, entre otros), y se puede decir que, de forma general, en todos ellos hay una clara tendencia al alza en las emisiones en el periodo 2013-2015 entre todos los tipos de buques, por ejemplo:

- La flota mundial está en aumento incluyendo aumento el número de unidades de buques quimiqueros, cruceros, pesqueros, buques de carga general y metaneros.
- El tamaño de los buques está en aumento.
- Las horas de operación de ciertos sectores ha aumentado considerablemente.
- Los motores tienen mayor potencia.

La Organización Marítima Internacional ha publicado estudios en los que se constata la pésima evolución de las emisiones del sector del transporte marítimo y la terrible perspectiva en caso de no actuar, ya que si no se llevan a cabo acciones que mitiguen estos efectos, el transporte marítimo internacional podría llegar a contribuir en un 17% al total de emisiones globales de CO<sub>2</sub> para el año 2050 (Cames, Graichen, Siemens, & Cook, 2015).

A continuación se muestra una gráfica que contiene los distintos escenarios que se prevén hasta 2050:



Fuente: International Transport Forum

No hay certeza de cómo la demanda de transporte se va a comportar ya todas las estimaciones se basan en escenarios que podrían no materializarse, sin embargo, un estudio reciente del International Transport Forum escoge premisas de las que parte su escenario base para estimar la situación futura: una fuerte reducción del uso de combustibles fósiles y la regionalización de los intercambios comerciales, el estudio demuestra que basados en esas premisas se podrían reducir las emisiones del transporte marítimo.

El menor consumo y transporte de combustibles fósiles está intrínsecamente ligado a la demanda futura de energía y a los compromisos que han surgido tras el Acuerdo de París, por ejemplo, el del PPPCA de 2018 mediante el cual 26 países se comprometen a gradualmente eliminar el uso de carbón para su generación de energía; en línea con esto, debido al menor consumo de carbón por los países de la OCDE, la producción mundial de carbón se ha reducido por primera vez desde 1990 y la International Energy Agency (IEA) estima que para el año 2040 la energía proveniente del carbón se reducirá hasta un 41%. Climate Analytics sugiere que para alcanzar los objetivos de París será necesario eliminar el consumo de carbón en los países de la OCDE antes de 2030, en China antes de 2040 y en el resto del mundo antes de 2050. Asimismo, sería necesario reducir el consumo de petróleo a un 50% de los niveles de 2015 (las estimaciones de

la IEA sostienen que el petróleo se podría reducir hasta un 22% en el año 2040).

Es importante señalar que cambios de este tipo en la generación de energía tendrían un impacto significativo en la economía marítima debido a las grandes cantidades de carbón, petróleo y gas que se transporta entre grandes distancias. La reducción de la producción mundial de carbón de 2,9% en 2015 significó un 4,3% de reducción de transporte de carbón por vía marítima, o lo que es lo mismo. Unos 50 millones de toneladas. El transporte de combustibles fósiles representa una porción importante del transporte marítimo: en 2016 un tercio de los bienes transportados eran petróleo y gas y el 11% era carbón.

El estudio del International Transport Forum tiene como premisa una reducción el mercado mundial de carbón y petróleo a partir de 2015, y en consecuencia menor transporte de estos por vía marítima, lo que significaría un aumento moderado de las emisiones. Asimismo, el estudio señala que los cambios recientes en los patrones y dinámicas de comercio entre los países emergentes, los cuales cada vez tienen mayor importancia en la economía global y que comercian más entre sí, podría alterar significativamente la demanda de transporte por vía marítima. Por ejemplo, asumen que China e India serán los principales actores del comercio internacional con un 23% de las exportaciones para 2035 y un 27% para 2050 y que aumentarán el proteccionismo y los intercambios regionales en Asia. Sostiene que los avances en impresión en 3D, la inteligencia artificial, la robótica y la manufactura computarizada podrían reducir las ventajas actuales, y por lo tanto la producción, en países emergentes de mano de obra barata.

También la legislación del 2020 podría implicar cambios en los flujos actuales del comercio debido a mayores costes del transporte marítimo internacional.

En caso de que ambas premisas se dieran, las emisiones de CO<sub>2</sub> podrían reducirse a unos 850 millones de toneladas para 2035 y aunque esto

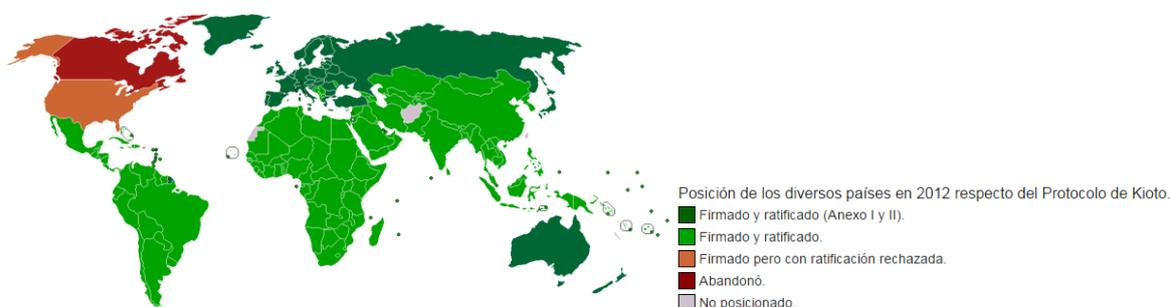
implica una reducción moderada, sentaría las bases para aplicar medidas efectivas que logren la descarbonización del transporte marítimo.

El transporte marítimo también genera, en segundo lugar en número de emisiones después del CO<sub>2</sub>, carbón negro, con el 7% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>e durante un período de 100 años y un 21% de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en una escala de tiempo de 20 años. Esto es porque el carbón negro contaminante del clima de corta duración, por lo que al reducir las emisiones de carbón negro de los buques de inmediato se reduce el impacto climático del transporte marítimo internacional.

#### **2.2.4 Protocolo de Kyoto**

El protocolo de Kyoto es un instrumento para poner en práctica lo acordado en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) (New York, 1992) y es el primer tratado vinculante para reducir las emisiones de efecto invernadero.

Fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto. Para que entrase en vigor fue necesario que 55 naciones que representaban el 55% del total mundial de las emisiones de gases de efecto invernadero lo ratificaran. En la actualidad 164 países lo han ratificado o aceptado, lo que supone más del 61% de las emisiones, según datos de la UNFCCC. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.



Fuente: Wikipedia

Como comentado, su objetivo es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global y, hasta ahora, ha logrado lo siguiente:

- Que los Estados parte promulguen leyes para cumplir con sus objetivos y compromisos medioambientales establecidos.
- Que las empresas asuman un compromiso con el medioambiente al tomar decisiones de inversión.
- Ha servido para fomentar la creación del mercado del carbono, cuyo fin es lograr la reducción de las emisiones de una manera eficiente a nivel de costes.

El protocolo establece compromisos de mitigación para los países industrializados y promueve el desarrollo sostenible para los países en desarrollo.

Entre las actividades a las que se exige que reduzcan sus emisiones se encuentran la generación de electricidad, el refinado de hidrocarburos, las coquerías, la calcinación de minerales metálicos, la producción de arrabio o de acero, la fabricación de cemento y cal, la fabricación de vidrio, la fabricación de productos cerámicos y la fabricación de papel y cartón. Sin embargo, no se encuentran reguladas por el Protocolo las emisiones procedentes del sector del transporte y del sector residencial.

El protocolo contempla distintas fases para conseguir sus objetivos:

- Fase 1 (2008-2012): el objetivo para este periodo del protocolo era reducir las emisiones en una media de 5.2% por debajo de los niveles existentes en 1990. Los países de la Unión Europea consiguieron superar este objetivo y reducir un 8%. El protocolo de Kyoto estableció para esta etapa un marco internacional para el intercambio de derechos de emisión llamado comúnmente sistema “cap-and-trade”, permitiendo a los países industrializados (conocidos como países del Anexo I de acuerdo a la terminología de la UNFCCC) a comprar y vender derechos de emisiones tanto

entre sí como con países en vías de desarrollo (conocidos como países del Anexo B). Este punto se desarrolla a continuación.

- Fase 2 (2013-2020): acordada en 2012 y conocida como Enmienda de Doha, es una etapa de transición entre la primera fase del protocolo y los objetivos del Acuerdo de París (también a comentar más adelante). Para este periodo el objetivo es seguir reduciendo las emisiones, al mismo tiempo que imponer un límite cuantitativo a la transferencia de derechos del primer periodo de Kyoto.

### **2.2.5 Esquemas de comercio de emisiones establecidos en el Protocolo de Kyoto**

#### Mercado de emisiones como respuesta al cambio climático: Kyoto y las EU-ETS

Como comentado anteriormente, la IPCC y la UNFCCC recomiendan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para adoptar esta premisa la UNFCCC ha identificado seis gases de este tipo a reducir. Los seis gases se clasifican según un índice relacionado al dióxido de carbono, que mide su incidencia potencial sobre la temperatura media de la tierra, esto quiere decir que, por ejemplo, el dióxido de carbono tiene un Global Warming Potential de 1, el metano de 23, etc., hasta llegar al hexafluoruro de azufre cuyo impacto en la temperatura de la tierra cuando es liberado a la atmósfera es 22.200 veces mayor que el del dióxido de carbono. A continuación la clasificación de estos gases:

<u>Greenhouse Gas</u>	<u>Global Warming Potential (GWP)</u>
Carbon dioxide(CO <sub>2</sub> )	1
Methane (CH <sub>4</sub> )	23
Nitrous Oxide (N <sub>2</sub> O)	296
Hydrofluorocarbons (HFCs)	12-12,000
Perfluorocarbons (PFCs)	5,700-11,900
Sulphur hexafluoride (SF <sub>6</sub> )	22,200

Fuente: UNFCCC

Asimismo, Kyoto separa al carbono como activos susceptibles de ser comercializados según tres tipos, todos denominados en unidades de una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e):

1. Unidades de cantidad atribuida (UCA o AAU por sus siglas en inglés, “assigned amount units”): unidades de cumplimiento para países del Anexo B con emisiones dentro de los límites establecidos por Kyoto. Ninguno de los países del Anexo B tenía límites en la fase 1 de Kyoto y por lo tanto tampoco tenían AAU. El objetivo de la fase 2 es establecer límites.
2. Certificados de Reducción de Emisión (“CER” o ERCs por sus siglas en inglés, Emission Reduction Credits): son créditos de carbón generados por proyectos CDM (por sus siglas en inglés, Clean Development Mechanism, o Mecanismo para Desarrollo Limpio) en países en desarrollo cuyo objetivo es incentivar la recuperación de metano, impulsar energías renovables, mejorar la eficiencia energética y los procesos industriales y optimizar el manejo de desechos.
3. Unidades de Reducción de Emisiones (“URE” o en inglés Emission Reduction Units, “ERUs”): créditos de carbón intercambiables, generados para proyectos registrados en el sistema del mecanismo de Joint Implementation (Aplicación Conjunta) diseñados para

incentivar la sostenibilidad en países parte del Anexo I, o industrializados. Representa la eliminación de una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>-e).

El CDM permite a proyectos en países en desarrollo vender sus CER a gobiernos y compañías en países industrializados (dentro del marco de esquemas de mercado de carbono u otros esquemas voluntarios), y hasta ahora ha tenido una incidencia mucho mayor y más importante que los mecanismos de JI en la generación de créditos. Los CER que se compran directamente a proyectos se conocen como CER primarios, mientras que a los CER comprados a intermediarios del mercado en base a garantías se les llama CER secundarios.

Como parte de una estrategia que permita a los Estados Miembro de la Unión Europea cumplir con los objetivos establecidos en Kyoto, esta estableció en 2005 el esquema de un mercado de emisiones o Régimen de comercio de derechos de emisión (RCDE, en inglés ETS, Emission Trading Scheme) cap-and-trade para industrias de alto impacto medioambiental, cubriendo alrededor del 42% del total de gases de efecto invernadero de los países de la Unión.

Cap-and-trade implica que en el sistema existe un total de emisiones limitadas y el exceso/déficit de derechos de quienes operan en el mercado pueden ser negociadas e intercambiadas. La cantidad total de determinados gases de efecto invernadero que pueden emitir las instalaciones contempladas en el régimen está sujeta a un límite máximo. Ese límite se reduce a lo largo del tiempo de forma que las emisiones totales disminuyen. Cuando se habla del cap-and-trade no se incluye a mecanismos flexibles como el CDM.

Dentro del límite establecido, las empresas reciben o compran derechos de emisión con los que pueden comerciar entre sí en función de sus necesidades. También pueden comprar cantidades limitadas de créditos internacionales procedentes de proyectos de reducción de emisiones de todo el mundo. El límite sobre el número total de derechos disponibles

garantiza que tengan un valor. Los derechos de emisión intercambiados en el marco de ETS dentro de la Unión Europea se conocen como European Unit Allowances (EUA).

Los EUA, CER y ERU se comercializan over-the-counter y en varios mercados organizados europeos, como ICE, ECX, EEX. Todos los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> se precian en euros por derecho/crédito, pero comúnmente se cuantifican en euro/tonelada.

El comercio de derechos aporta una flexibilidad que garantiza la reducción de emisiones de forma coste-efectiva. Un precio del carbono elevado también promueve la inversión en tecnologías limpias con pocas emisiones.

El ETS EU sigue siendo, con mucho, el mayor impulsor del mercado mundial de carbón en este momento, representando el 82% de la facturación total en 2009 (USD 118 billones de USD 144 billones), y aún más si se tiene en cuenta la compra de CER por parte de la UE. El EU-ETS es también el mercado que tiene el mayor grado de certeza futura, en el sentido de que con seguridad seguirá existiendo después de 2020.

En la práctica el transporte marítimo podría adoptar un esquema de este tipo, donde se comercien los déficits y excesos de emisiones de los armadores, a través de mercados organizados u over-the-counter. Sin embargo, sigue siendo una alternativa poco apoyada por los países emergentes debido a la situación de desventaja competitiva en la que los situaría, al igual que a las empresas navieras pequeñas, por la complejidad intrínseca del sistema de comercio de emisiones.

### **2.2.6 Fuga de carbono**

Es la situación que puede producirse cuando, por motivos de costes derivados de las políticas climáticas, las empresas trasladan su producción a otros países con límites de emisión menos estrictos. Esto puede provocar un aumento de su total de emisiones.

El riesgo de fuga de carbono puede ser mayor en determinadas industrias con gran consumo energético.

Para mantener la competitividad de las industrias incluidas en el ETS EU, en su tercera fase (2013-2020), la producción de los sectores y subsectores que se consideran expuestos a un riesgo significativo de fuga de carbono reciben una cuota más alta de derechos gratuitos que las demás instalaciones industriales. Los sectores y subsectores que se consideran expuestos al riesgo de fuga de carbono se enumeran en una lista oficial<sup>13</sup>.

Sin embargo, hay sectores que mantienen que en lugar de fuga de carbono, el comercio barato de los derechos de emisión de gases de efecto invernadero resta atractivo a la inversión en energías renovables; es decir que en lugar de motivar la salida de las empresas de Europa les sirve a éstas para desentenderse de la eficiencia energética y las energías renovables y argumentar que hay un uso sostenible del petróleo, el carbón y el gas.

### **2.2.7 Acuerdo de París**

Es un acuerdo dentro del marco de la UNFCCC que establece medidas para la reducción de las emisiones gases de efecto invernadero a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del calentamiento global, su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kyoto.

El acuerdo fue negociado durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) por los 195 países miembros, adoptado el 12 de diciembre de 2015 y abierto para firma el 22 de abril de 2016 para celebrar el Día de la Tierra.

Hasta el 3 de noviembre de 2016 este instrumento internacional había sido firmado por 97 partes, lo cual comprende 96 países firmantes individualmente y la Unión Europea, la cual ratificó el acuerdo el 5 de octubre

---

<sup>13</sup> Neira O., (2011).

de 2016. De esta manera se cumplió la condición para la entrada en vigor del acuerdo (Artículo 21,1) al ser ratificado por más de 55 partes que suman más del 55 por ciento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

El jefe de la Conferencia de París, Laurent Fabius, calificó el plan como un "punto decisivo histórico" en el objetivo de reducir el calentamiento global.

El 1 de junio de 2017, el presidente Donald Trump anunció la retirada de Estados Unidos de este acuerdo, tras sus promesas de campaña en pro de los intereses proteccionistas de ese país. Todos los demás países del mundo reiteraron su compromiso y comunicaron que no se iban a retirar del acuerdo aunque Estados Unidos lo hiciese. Los países latinoamericanos que más se habían involucrado en la consecución de los objetivos fijados en el acuerdo, expresaron su preocupación por la reducción de transferencia de tecnología y financiación internacional que supondría la retirada de Estados Unidos para su proceso de transición energética.

Los principales elementos del Acuerdo de París son:

- Evitar que el incremento de la temperatura media global supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales y busca, además, promover esfuerzos adicionales que hagan posible que el calentamiento global no supere los 1.5°C.
- Resaltar la importancia de conseguir una senda de reducción de emisiones a medio y largo plazo, coherente con un escenario de neutralidad de carbono en la segunda mitad de siglo, es decir, un equilibrio entre las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero.
- Compromete a todos los países a que, cada cinco años, comuniquen y mantengan sus objetivos de reducción de emisiones, así como la puesta en marcha de políticas y medidas nacionales para alcanzar dichos objetivos.

- Incluye un ciclo de revisión o sistema de ambición que establece que, cada cinco años (empezando en 2023), es necesario hacer un balance del estado de la implementación del Acuerdo respecto al objetivo de los 2°C citado en el primer párrafo.
- Sienta las bases para una transformación hacia modelos de desarrollo bajos en emisiones. Para ello, se cuenta con un importante paquete financiero que ayudará a la implementación del Acuerdo y que deberá construirse sobre la base del objetivo, para los países industrializados, de movilización de 100.000 millones de dólares anuales, a partir de 2020, a través de distintas fuentes. Este objetivo se revisará al alza antes de 2025.
- Refuerza el sistema actual de transparencia y rendición de cuentas de la UNFCCC para fortalecer la confianza entre los países, sobre la base de un sistema de información claro y común, en particular sobre cifras de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero y apoyo proporcionado y recibido.
- Crea un Comité, destinado a facilitar la aplicación del Acuerdo y promover su cumplimiento, por todas las Partes. Este Comité tiene naturaleza facilitadora, no contenciosa y no punitiva.

A partir de Kyoto y París surge el concepto de **Huella de carbono**, que es la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Se suele clasificar según tres tipos de emisiones:

- Emisiones directas: por uso de maquinaria o vehículos de una organización, por pérdidas de gases refrigerantes, o por reacciones químicas durante los procesos productivos de la organización.
- Emisiones indirectas por energía: mix energético del productor de la energía requerida por la organización.
- Otras emisiones Indirectas: atribuibles a los productos y servicios adquiridos por la organización y/o persona.

Existen mecanismos de flexibilidad y compensación para cumplir con los objetivos de Kyoto, y de forma más reciente con los del Acuerdo de París:

- Por un lado para limitar/parar el aumento que englobaría aquellos procesos de eficiencia donde la huella de carbono es cada vez menor (es decir, dejar de emitir): si se genera 1 t CO<sub>2</sub>, y se mejora la eficiencia de los procesos o se hace una transición hacia tecnologías más modernas y eficientes, se podría limitar la emisión (a, por ejemplo, 0.5 t CO<sub>2</sub>e).
- Sumideros: se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis (proceso por el que los vegetales captan CO<sub>2</sub> de la atmósfera o disuelto en agua y con la ayuda de la luz solar lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares). Mediante esta función, los vegetales absorben CO<sub>2</sub> que compensa las pérdidas de este gas que sufren por la respiración y lo que se emite en otros procesos naturales como la descomposición de materia orgánica. Supone que por cada 1 t CO<sub>2</sub> generada, la misma es absorbida por estos procesos.

La diferencia entre ambos conceptos radica en que el primero se deja de emitir y en el segundo se absorben las emisiones.

### **2.2.8 Avances regulatorios para la reducción de GEI derivados de la actividad marítima internacional**

La Organización Marítima Internacional es el órgano responsable de regular el sector del transporte marítimo y ha establecido una serie de reglamentos y medidas obligatorias para hacer frente a las emisiones de gases de efecto invernadero y las de gases contaminantes (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y materia particulada), en virtud del Anexo VI del Convenio MARPOL (Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación por

Buques) relativo a la prevención de la contaminación atmosférica por la actividad marítima. El Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques o MARPOL 73/78 (abreviación de polución marina y años 1973 y 1978), como se le llama habitualmente, es un conjunto de normativas internacionales con el objetivo de prevenir la contaminación por los buques. Fue desarrollado por la Organización Marítima Internacional (OMI), organismo especializado de la ONU. Se aprobó inicialmente en 1973, pero nunca entró en vigor. La matriz principal de la versión actual es la modificación mediante el Protocolo de 1978 y ha sido modificada desde entonces por numerosas correcciones. Entró en vigor el 2 de octubre de 1983. Actualmente 119 países lo han ratificado. Su objetivo es preservar el ambiente marino mediante la completa eliminación de la polución por hidrocarburos y otras sustancias dañinas, así como la minimización de las posibles descargas accidentales. Por él se han creado las zonas SECA sobre las que se comentó previamente, además de las zonas NECA para limitar las emisiones de óxidos de nitrógeno.

El 1 de enero de 2013 entró en vigor el Energy Efficiency Design Index de la Organización Marítima Internacional, el mismo impone mejoras en la eficiencia energética de los buques y básicamente establece que los buques de nueva construcción emitan menos CO<sub>2</sub> por unidad transportada (expresada como a CO<sub>2</sub>/dwt-nma). Establece asimismo que los buques construidos entre 2015 y 2019 deben ser 10% más eficientes que los construidos entre 1999 y 2009, los que se construyan entre 2020 y 2024 un 20% más eficientes y los que se construyan a partir de 2025 un 30% más eficiente. Sin embargo, ya que esta normativa sólo aplica a los buques de nueva construcción, no tiene un impacto considerable para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector y por sí misma no representa suficiente para revertir la tendencia de mayores emisiones que existe a día de hoy. En el mismo paquete normativo se estableció que todos los buques deben desarrollar e implementar un Plan de Gestión de la Eficiencia Energética (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP) para aplicar medidas de

eficiencia energética en la operación del buque así como un proceso de mejores prácticas y mejora continua.

Por otro lado, en su sesión de julio de 2017, y debido a que la implementación de medidas en los buques de nueva construcción no es suficiente para ver un resultado real en la flota existente, ni las tecnologías actuales permiten mejoras –y en todo caso, sería en el largo plazo que se verían mejoras reales en los niveles de emisiones, el Comité de protección del medio marino (MEPC –Marine Environment Protection Committee) sentó las bases para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del transporte marítimo internacional, y finalmente el 13 abril de 2018 durante la 72<sup>a</sup> reunión del Comité en la sede de la Organización Marítima Internacional en Londres, se adoptó la Estrategia Inicial –se espera que la definitiva se adopte en 2023, para combatir el cambio climático en el sector en línea con el Acuerdo de París.

El objetivo de esta Estrategia Inicial es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo con carácter urgente en el siglo XXI. En la misma se establecen niveles de ambición, considerando que la innovación y los combustibles alternativos serán cruciales para conseguir los objetivos comunes, que son los siguientes:

- b. Reducir la intensidad de las emisiones de carbono de los buques mediante la implementación del EEDI.
- c. Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector marítimo por unidad de transporte en promedio al menos en un 40% para 2030 respecto a los niveles de 2008, con el objetivo de llegar a un 70% en 2050.
- d. En línea con el Acuerdo de París, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo internacional al 50% de los niveles de 2008, como máximo en 2050.

La Estrategia Inicial de la Organización Marítima Internacional establece las siguientes medidas alternativas a corto (2018-2023), medio

(2023-2030) y largo plazo (a partir de 2030) para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero:

- Estrategias candidatas a ser implementadas a corto plazo:
  - Mejorar las medidas de EEDI y SEEMP en función de los resultados de las medidas aplicadas actualmente.
  - Desarrollar medidas de eficiencia energética técnica y operacional para la flota existente y buques de nueva construcción; que incluyan consideraciones a los indicadores que sea útiles para indicar y mejorar los índices de eficiencia energética de los buques.
  - Establecer un Programa de Mejoras para la Flota Existente.
  - Considerar y analizar la optimización y reducción de velocidad como una medida, teniendo en cuenta los problemas de seguridad, distancia, distorsiones del mercado y que tal medida no impacte en la capacidad del transporte marítimo para dar servicio a zonas geográficas remotas.
  - Considerar y analizar medidas para abordar las emisiones de metano y mejorar aún más las medidas para abordar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles.
  - Exhortar a la elaboración y actualización de planes de acción nacionales que desarrollen políticas y estrategias para abordar las emisiones de GEI provenientes del transporte marítimo internacional que estén en línea con las directrices que elaborará la Organización Marítima Internacional,

teniendo en cuenta la necesidad de evitar la promulgación de medidas regionales o unilaterales.

- Continuar y mejorar la cooperación técnica y las actividades de creación de capacidad en el marco del ITCP (Integrated Technical Cooperation Programme, de la Organización Marítima Internacional).
- Considerar y analizar medidas para exhortar desarrollos portuarios y actividades a nivel mundial para facilitar la reducción de las emisiones de GEI del transporte marítimo, incluyendo la provisión de suministro de energía a buques en puerto/en tierra desde fuentes renovables, infraestructura que permita el suministro de combustibles de bajo o sin carbono, y para optimizar aún más la cadena logística y su planificación, incluyendo los puertos.
- Iniciar actividades de investigación y desarrollo relacionadas con la propulsión marina, combustibles alternativos bajos y sin carbono, y tecnologías innovadoras para mejorar aún más la eficiencia energética de los buques y establecer un Junta Internacional de Investigación Marítima para coordinar y supervisar estos Esfuerzos en I+D.
- Establecer incentivos para los primeros en desarrollar y adoptar nuevas tecnologías.
- Desarrollar directrices sólidas sobre la intensidad de GEI en el ciclo de vida para todos los tipos de combustibles, con el fin de prepararse para un programa de implementación de adopción de combustibles alternativos bajos y sin carbono.

- Promover activamente el trabajo de la Organización Marítima Internacional a nivel de la comunidad internacional, en particular para destacar que la Organización, desde la década de 1990, sistemáticamente ha desarrollado y adoptado medidas técnicas y operacionales que han resultado en una reducción de las emisiones atmosféricas de los buques, y que estas medidas podrían apoyar los Objetivos de Desarrollo Sostenible sobre cambio climático.
  - Llevar a cabo estudios adicionales de emisiones de GEI y considerar otros estudios en la toma de decisiones y el establecimiento de políticas, incluida la actualización de la curva de Coste de Reducción Marginal y combustibles alternativos bajos y sin contenido de carbono.
- Estrategias candidatas a ser implementadas a medio plazo:
- Crear un programa de implementación para la adopción efectiva de combustibles alternativos de bajo y sin contenido de carbono, incluyendo la actualización de planes de acción nacionales para considerar específicamente tales combustibles.
  - Establecer medidas operacionales de eficiencia energética para buques de nueva construcción y para la flota existente.
  - Crear nuevo(s)/innovador(es) mecanismo(s) de reducción de las emisiones, que podrían incluir Medidas Basadas en el Mercado (MBM), para incentivar la reducción de emisiones de GEI.

- Continuar y mejorar la cooperación técnica y la creación de capacidad en actividades tales como el ITCP.
  - Desarrollar un mecanismo de retroalimentación dentro del marco de las mejores prácticas, que permita recopilar y compartir las experiencias en la implementación de medidas.
- Estrategias candidatas a ser implementadas a largo plazo:
- Buscar el desarrollo y de combustibles libres de carbono o fósiles para permitir que el sector del transporte marítimo y considere la descarbonización en la segunda mitad del siglo.
  - Exhortar y facilitar la adopción general de nuevos e innovadores mecanismos de reducción de emisiones.

### **2.2.9 Efecto cruzado**

Resulta como poco curioso, y un reto para la Organización Marítima Internacional como ente regulador, que para reducir las emisiones de óxidos de azufre (su objetivo con las zonas SECA y distintas regulaciones para reducir el SO<sub>x</sub>) es necesario hidrodesulfurizar los combustibles, y este proceso consume mucha energía en las refinerías (más que el de refinado habitual para productos de alto contenido de azufre), por lo que aumentan significativamente las emisiones CO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> también aumentan cuando se limitan las revoluciones o temperatura para reducir emisiones de NO<sub>x</sub>, debido a que aumenta también el consumo de combustible.

Es por estas razones que la reducción de distintas emisiones se ha abordado a través de distintos instrumentos y paulatinamente, aunque de manera holística.

### 2.2.10 Decisiones de la Unión Europea

La Unión Europea y sus Estados miembros mantienen su compromiso con el Acuerdo de París y cumplirán su compromiso de reducir sus emisiones en al menos un 40% entre 1990 y 2030. En 2016, las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE ya eran un 23% inferiores al nivel de 1990 en base a los datos preliminares, excluidas las actividades de uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura pero incluida la aviación internacional.

De acuerdo con las últimas previsiones de los Estados sobre la base de las medidas existentes, se cumplirá el objetivo del 20% para 2020. En 2030, se espera que las emisiones sean un 30% menos que en 1990 si no se aplican políticas adicionales. Es por esto que la UE empezó negociaciones para una nueva legislación que garantice que cumplirá su objetivo de reducción de las emisiones en al menos un 40 % entre 1990 y 2030.

El consejo de Transporte, Telecomunicaciones y Energía de la Unión Europea emitió un comunicado de prensa en junio de 2017 donde indicaba que “la competitividad, la descarbonización y la digitalización son los principios rectores en que se basará la política de transporte marítimo de la UE hasta 2020 y después de ese año. El objetivo de estos principios es que el transporte marítimo siga siendo un medio atractivo de transporte de mercancías y personas y sea aún más respetuoso con el medio ambiente. Debería servir también como catalizador de la inversión y la innovación”.

Un informe de la Comisión Europea de 2011 establece que las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del transporte marítimo deberían reducirse para el 2050 en un 40% con respecto a los niveles de 2005, y de ser posible hasta en un 50%.

En junio de 2013 la Comisión estableció una estrategia para integrar de forma progresiva al transporte marítimo en las políticas europeas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; esta consiste en

tres pasos consecutivos: monitorizar, reportar y verificar las emisiones de CO<sub>2</sub> de buques cuyo GT es >5.000 que recalaran en puertos europeos; establecer objetivos de reducción de emisiones para el sector; y medidas adicionales en el largo plazo, incluyendo aquellas asimilables al ETS EU. Estas medidas se encuentran en el Reglamento 757/2015.

El 8 de noviembre de 2017, tras negociaciones entre el Consejo, Parlamento y Comisión Europea, se acordó dejar al transporte marítimo fuera del ETS EU, lo que demuestra la preferencia de la Unión Europea por una aproximación global liderada por la Organización Marítima Internacional, posiblemente porque conllevaría una efectividad mayor que medidas locales. En esta reunión se decidió obligar a medir y reportar la huella de carbono de cada singladura, a partir de enero de 2018, a cualquier barco de más de 5.000 t de desplazamiento que atraque en un puerto de la UE, y que además la Comisión tendrá que llevar a cabo revisiones periódicas de la situación de las emisiones e informar al Consejo y al Parlamento sobre los progresos realizados en la Organización Marítima Internacional para alcanzar la reducción de emisiones. Pone como fecha límite 2023 para iniciar las acciones, año en el que la Organización Marítima Internacional tendrá que establecer la Estrategia Definitiva.

#### **2.2.11 Alternativas y medidas efectivas del sector del transporte marítimo para reducir las emisiones de GEI**

Existen alternativas cuyo objetivo directo es la descarbonización del transporte marítimo, es decir reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y por lo tanto del CO<sub>2</sub> pero sin afectar la tendencia al alza de la demanda y actividad del sector, bien mediante medidas técnicas o aumento de la eficiencia energética de los buques (las ya adoptadas mediante el EEDI y el SEEMP, como ya se comentó), o compensando económicamente las emisiones (a través de medidas basadas en instrumentos de mercado, a las que los países emergentes se han opuesto debido a que consideran que las mismas podrían significar una barrera para su desarrollo económico).

Estas medidas de instrumentos de mercado permitirían al sector del transporte marítimo conseguir una reducción neta de sus emisiones mediante pagos directos o compensación. Los dos conceptos de compensación de emisiones que se han planteado en el marco de las negociaciones son:

- El comercio de emisiones: es un método complejo basado en el sistema de cap-and-trade comentado anteriormente, que aunque en la práctica podría ayudar a reducir las emisiones de forma efectiva, resultaría de difícil acceso especialmente para las empresas pequeñas, ya que en este mecanismo, asimilable al método implementado en el sector de la aviación, existe una alta volatilidad que podría resultar difícil de gestionar para aquellos armadores que no cuenten con know-how robusto en la gestión del riesgo; y porque, por otro lado, crear un límite de emisiones de CO<sub>2</sub> podría coartar el crecimiento económico de los países emergentes y en desarrollo.
- La creación de una tasa sobre el combustible y un fondo internacional de compensación: ha sido sugerido, entre otros, por la International Chamber of Shipping como alternativa a opciones más agresivas y consistiría en una tasa de carácter universal, igual para todos los buques y banderas, a abonar por las empresas navieras por cada tonelada de combustible adquirida para sus buques; la recaudación obtenida de esta tasa serviría para dotar un fondo internacional dedicado a programas para limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> en países en vías de desarrollo y para proyectos de investigación y desarrollo de buques más sostenibles, y estaría administrado por una institución internacional a crear, posiblemente mediante un convenio, y no por las administraciones nacionales. La recaudación resulta un punto complejo y se han planteado distintas alternativas, por ejemplo mediante los suministradores de combustibles, que tendrían que registrarse

como suministradores autorizados y de esta forma eliminar el fraude, aunque en caso de quiebra resultaría difícil exigir los fondos provenientes de la tasa; otra opción sería a través de los Estados de pabellón (¿posiblemente a través de sus entes tributarios?) que pagarían a su vez la tasa al Fondo. Este método, relativamente sencillo de poner en práctica y que evitaría la existencia de diversos regímenes regionales (como ocurre actualmente en la aviación) supondría igualdad de condiciones para las empresas navieras, lo que está en línea con el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas del Protocolo de Kyoto, y que resulta el más atractivo de implementar incluso para los países emergentes. Resultaría de vital importancia, sin embargo, establecer la cuantía de la tasa de modo que no afecte la competitividad del transporte marítimo contra sus alternativas, o a su vez, establecer un mecanismo que no permita que la carga se traslade a medios de transporte más contaminantes, como el transporte por carretera (cuyas emisiones son seis veces mayores que las del transporte vía marítima). La actitud generalizada del sector hacia estas medidas ha sido receptiva en los últimos años por lo que, en virtud de lo acordado en abril de 2018 en la Organización Marítima Internacional, sería lógico esperar que se acuerden y emitan regulaciones en este sentido en el medio plazo.

Mientras que las mejoras técnico-operacionales, aquellas que se refieren a las tecnologías a aplicar a los buques para mejorar su eficiencia energética pero distintas a las del EEDI, serían las siguientes, según un estudio elaborado por el International Transportation Forum<sup>14</sup>:

- Uso de energías y combustibles alternativos: estos combustibles por lo general tienen menos emisiones, o incluso cero emisiones, cuando son usados para propulsión marina. Aunque la mayoría no son derivados de combustibles fósiles, algunos aumentan las

---

<sup>14</sup> International Transport Forum (2018). *Decarbonising Maritime Transport*.

emisiones cuando son producidos (produciendo el comentado efecto cruzado). No todas estas alternativas han alcanzado el nivel deseado para ser comercializadas de manera amplia:

Measures	CO <sub>2</sub> emission reductions
Advanced biofuels	25-100%
LNG	0-20%
Hydrogen	0-100%
Ammonia	0-100%
Fuel cells	2-20%
Electricity	0-100%
Wind	1-32%
Solar	0-12%
Nuclear	0-100%

Fuente: International Transport Forum

- Gas Natural Licuado (GNL): el gas natural licuado (GNL) se forma cuando el gas natural se enfría a -162°C, lo que reduce su volumen unas 600 veces. Esto hace que sea más fácil y más seguro de almacenar ya que en estado líquido el GNL no es explosivo y no hace auto combustión. Sus ventajas con respecto a la contaminación del aire se consideran un argumento importante para usar GNL como combustible marino. El uso de un motor de solo gas puede reducir las emisiones de SO<sub>x</sub> y la materia particulada en casi un 100% en comparación con el combustible convencional (IMO, 2016), asimismo reduce entre un 15 y 25% las emisiones de CO<sub>2</sub> y reduce más de un 80% los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). El potencial de mitigación de CO<sub>2</sub> del GNL ha demostrado ser sustancial, con reducciones que varían entre 5-30% en comparación con el fuelóleo pesado (HFO) (Bouman et al., 2017). Sin embargo, el manejo y la combustión del GNL implican la liberación de metano no quemado, también denominado *methane slip*, que puede disminuir sus ventajas medioambientales generales en función del volumen de las emisiones de metano. Como se ha comentado anteriormente, el metano es un GEI muy potente con un potencial de calentamiento global 28 veces mayor que el CO<sub>2</sub> durante un

período de 100 años y 84 veces mayor en un período de 20 años (Anderson et al., 2015). Las emisiones de metano pueden diferir significativamente dependiendo de la nave, tipos de motor y cargas. Los fabricantes afirman que los motores eficientes pueden emitir menos de 1 g / kWh, mientras que otros pueden tener emisiones cercanas a 6 g / kWh (Verbeek, 2013). También es importante tener en cuenta que el methane slip también puede ocurrir durante la fase de repostaje, así como en la fase previa de la producción de combustible, procesamiento y transmisión, lo que también reduce aún más su potencial de mitigación de GEI. Cuando las emisiones son superiores a 5,8 g / kWh, el uso de GNL pierde su potencial de mitigación e incluso conduce a mayores emisiones globales de GEI (Verbeek, 2013). Los buques que funcionan en base a GNL son muy pocos, pero el número sí que está creciendo. Actualmente hay 118 buques de GNL en todo el mundo, excluidos los buques de GNL y los buques de navegación interior. La flota ha crecido exponencialmente desde principios de la década de 2000 y los datos actualmente disponibles sobre pedidos confirmados de barcos indican que se espera que la flota se duplique y crezca en otros 123 buques en los próximos años (ITF, 2018c). Hay un aumento de las iniciativas respaldadas por el gobierno, como en Japón, Corea y China para desarrollar infraestructuras de abastecimiento de GNL como parte de sus estrategias comerciales y objetivos de reducción de GEI (DNV GL, 2017). Estas tendencias parecen indicar que la industria considera que el GNL es una solución atractiva, en particular si el GNL se vuelve más barato que los combustibles bajos en azufre. Esto implica que el GNL podría ver una absorción creciente en el corto y medio plazo como parte de los esfuerzos de la industria para mitigar las

emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, considerando los impactos negativos del GNL debido a sus emisiones de metano y las ventajas relativas de CO<sub>2</sub> de otras alternativas más limpias, como los biocombustibles, el GNL podría no ser una solución atractiva a largo plazo. Como tal, es importante garantizar que los planes de inversión para la infraestructura de GNL puedan justificarse y posiblemente a combustibles alternativos a largo plazo.

- Energía solar: mediante la integración de paneles fotovoltaicos, bien sea como única fuente de energía o para generar potencia auxiliar. Es una energía limpia, sin emisiones, pero que resulta cuya generación está bastante limitada con las tecnologías actuales y que requiere de gran espacio para instalar los paneles. La energía fotovoltaica puede suministrar electricidad para la demanda de energía a bordo. Los paneles solares pueden ser instalados horizontalmente en cubierta o verticalmente en una disposición con ciertos tipos de vela. La tecnología puede ser aplicada conjuntamente con la tecnología eólica (estructura de mástil) para aumentar el área disponible para la captura de energía proveniente del sol. Dada su capacidad limitada para satisfacer la demanda de potencia de los buques, las instalaciones fotovoltaicas actualmente solo son adecuadas para satisfacer la demanda de potencia auxiliar. Como los sistemas de propulsión de viento actualmente disponibles, se espera este tipo de tecnología siga requiriendo de una fuente de combustible líquido. Similar a la energía eólica, la eficiencia de esta tecnología también depende de las condiciones meteorológicas. En zonas cercanas al Ecuador, la producción de energía solar alcanza valores más altos y por ello hace que esta sea una inversión más viable para los

buques que operan en estas zonas. Las posibles reducciones por el uso de la energía solar son bastante limitadas. Smith et al. (2016) suponen una reducción de alrededor del 0,1-3% del consumo de combustible del motor auxiliar. La posible reducción de CO<sub>2</sub> informada en diferentes estudios varía de 0,2-12% de acuerdo con Bouman et al. (2017). Otra limitación importante es la necesidad de una gran superficie de la cubierta que no interfiera con el manejo de la carga (aunque se puede utilizar en RoRo y car carriers). Los operadores del Nichioh Maru, un car carrier japonés que funciona con asistencia solar, afirman que el barco alcanza una reducción de 1.400 toneladas de diesel por año, lo que implica una reducción anual de 4.200 toneladas de CO<sub>2</sub>. La tecnología para los sistemas de propulsión solar sigue siendo muy costosa y la implementación es complicada (Glykas et al., 2010). Sin embargo, el costo de la energía solar puede disminuir en el futuro cuando la tecnología esté más desarrollada y aplicada en una escala más grande. En cuanto a las baterías, es probable que se produzcan reducciones de costes a partir de I+D y experiencia de producción acumulada obtenida en otros sectores que están desarrollando tecnologías equivalentes o similares. La adopción puede esperarse en el mediano a largo plazo, aunque esto se aplicaría sólo para ciertos tipos de buques que permitan que el espacio de cubierta se cubra con una amplia gama de paneles fotovoltaicos.

- Energía eólica: es otro método sostenible que no produce gases dañinos a la atmósfera y que podría volver a ser considerado, basándose en avances en los diseños, más aerodinámicos, mejor fabricación y control avanzados. Sin embargo, las velas, o medios que se le asemejen, interfieren

con las operaciones de carga y descarga y podrían resultar peligrosas en caso de mal tiempo, y lamentablemente no ha habido avances considerables en este sentido. A día de hoy hay seis tecnologías principales de propulsión eólica para barcos: velas blandas, velas rígidas y velas de ala, velas de casco, remolque de cometas, cilindros giratorios y turbinas eólicas. Las velas suaves se asemejan a las velas clásicas, que son en su mayoría automatizadas. Las velas rígidas o de ala son láminas en forma de alas. Las velas de casco se refieren al casco de un buque que puede ser en forma de un perfil aerodinámico por lo que genera sustentación aerodinámica. Las cometas dinámicas se pueden instalar en la proa de un barco para hacer uso de vientos de gran altitud. Los cilindros giratorios verticales, también denominados rotores, aprovechan la fuerza propulsora creada por la diferencia de presión en el cilindro ortogonal a la dirección del viento conocido como el efecto Magnus. Las turbinas eólicas pueden instalarse en barcos para apoyar la propulsión eléctrica del buque o utilizarse para la propia propulsión del buque. Hasta ahora, la adopción de estas tecnologías ha sido bastante pequeña y la mayoría de los proyectos de propulsión eólica todavía están en una fase de prueba. Hasta la fecha, las tecnologías con mayor madurez en el mercado son cometas y rotores. Dadas las diferentes velocidades de operación, casco, maquinaria, condiciones climáticas, estaciones y rutas tomadas, hay una gran cantidad de heterogeneidad en el ahorro de combustible y, por lo tanto, un cierto grado de incertidumbre sobre la cantidad emisiones de CO<sub>2</sub> que se podrían reducir por las tecnologías de propulsión eólica. Se estima que el potencial de reducción de las tecnologías de viento en los buques ronda el 10-60% (Rehmatulla et al., 2015) y el 1-50% de

reducción en CO<sub>2</sub> según un estudio de estimaciones existentes (Bouman et al., 2017). Las reducciones de consumo de combustible bruto se calcularon entre el 10% a 20 nudos y el 30% a 10 nudos por Smith et al. (2016) para rotores Flettner; aproximadamente entre el 10% y el 50% de reducción en las emisiones por velas dependen de la velocidad y condiciones de navegación. Supuestamente, el potencial de ahorro de combustible para un buque de nueva construcción puede ser más alta que para un *retro-fit* porque el barco puede construirse para cumplir con todas las condiciones requeridas para implementar las tecnologías más óptimas. Los costes de instalación y operación varían significativamente entre las tecnologías de viento disponibles. La instalación de una cometa es relativamente superficial y fácil, y su coste, incluido el montaje y mantenimiento, es notablemente más bajo que para las velas convencionales. Los rotores se consideran más efectivos que las velas, pero son más caros. En general, se supone que los costes disminuyen con una mayor absorción de las tecnologías de propulsión eólica. El tiempo de amortización depende de una variedad de factores, como las variaciones en el precio del combustible y la velocidad del barco y el tipo de rutas de operación, que están expuestas a más o menos viento. Puede haber costes de oportunidad y los costes ocultos no se tienen en cuenta en el coste de instalación y operación, lo que podría aumentar el período de recuperación de la inversión en esta tecnología. Esto incluye, por ejemplo, los ingresos perdidos por el espacio de carga perdido, las interrupciones debidas a tiempo de instalación (hasta 2-7 días adicionales de dique seco dependiendo de la tecnología), así como el aumento de duración del viaje para aprovechar al máximo las condiciones meteorológicas en

diferentes rutas. La mayor duración del viaje también puede afectar la cantidad de servicios por año. El riesgo técnico percibido con las actuales tecnologías inmaduras puede aumentar aún más el coste de capital para financiar la implementación. En la mayoría de los casos, las tecnologías de propulsión eólica proporcionan solo beneficios parciales de propulsión con algunas tecnologías utilizadas principalmente para la generación de electricidad a bordo (turbinas eólicas). La propulsión del viento se considera más efectiva a baja velocidad (Smith et al., 2016). Por ejemplo, las cometas funcionan mejor en barcos con una velocidad promedio no superior a 16 nudos y, por lo tanto, son más adecuados para buques tanque y graneleros, pero también podrían ser utilizadas en buques portacontenedores (Traut et al., 2014). A diferencia de las cometas, los rotores no son adecuados para buques portacontenedores porque interfieren con el manejo de la carga. Algunas aplicaciones de energía eólica se pueden combinar. Por ejemplo, el posicionamiento y la función de los rotores Flettner y las cometas no son mutuamente excluyentes y podrían aprovechar los vientos provenientes de diferentes direcciones. La asistencia al viento se puede aplicar junto con la navegación lenta y otras mejoras incrementales de la eficiencia. La aceptación de las tecnologías eólicas dependerá de una variedad de factores. Cálculos de Lloyd's Register muestran que las tecnologías con un 10% de ahorro de combustible potencial serían comercialmente viables sólo a un nivel de precios del combustible más alto de 1.000 USD / tonelada (Lloyd's Register, 2015). Por ejemplo, con la adopción de un precio como el del carbón, la asistencia eólica podría convertirse en una opción interesante, especialmente si los precios de los combustibles alternativos

son altos. Actualmente hay dos proveedores cuyos productos se acercan a la comerciabilidad para barcos comerciales, aunque una gama de tecnologías que se están probando actualmente será comercializable antes de 2035. La empresa alemana SkySails ha equipado dos buques multiuso y un granelero con cometas de remolque auxiliares. Los cilindros de rotor también han sido probados por la compañía naviera Bore, que ha instalado cilindros en un Ro-Ro entre Rotterdam y Teesport en el Reino Unido (Bore, 2015). Norsepower, una start-up finlandesa firmó un acuerdo con la compañía naviera Viking Line en 2017 para instalar su Rotor Sail Solution a bordo de un ferry en el segundo trimestre de 2018 (Norsepower, 2017a). La compañía también instalará velas de rotor Flettner de 30 m de alto y 5 m de ancho en 2018 a un buque tanque de Maersk con, que hará pruebas de mar hasta finales de 2019 (Norsepower, 2017b). Se realizaron simulaciones entre 2012 y 2015 para comprobar la viabilidad y el potencial de reducción de combustible de un buque portacontenedores "Ecoliner" equipado con velas (proyecto SAIL, 2015). Nelissen et al. (2016) anticipan que el potencial de mercado ascenderá a alrededor de 3.700-10.700 en graneleros y petroleros para 2030. Smith et al. proyectan un aumento gradual de los sistemas de propulsión eólica a partir de 2025 a pesar del nivel relativamente bajo de madurez del mercado y pocas aplicaciones en la práctica que, sin embargo, demuestran un potencial interesante.

- **Biofueles:** son aquellos combustibles producidos a partir de materia orgánica, tales como plantas o desechos animales y pueden ser sólidos, gaseosos o líquidos. Hasta ahora las mayores fuentes de biofueles son las plantas y aceites, como el aceite de palma y la soja. Pueden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> entre un 25% y 100% cuando son biofueles avanzados.

Sin embargo, para producir biofueles es necesaria la conversión de tierras de cultivo y bosques, lo que podría significar reducción de alimentos, deforestación y otros daños medioambientales. El uso de estos combustibles debería estar sujeto al análisis holístico de sus efectos sobre los recursos naturales y el precio de los alimentos. Es posible producir biofueles para uso marino que puedan ser utilizados por los motores actuales, e incluso es posible mezclarlos con combustibles existentes, aunque es importante que el tipo que se use no tenga tendencia a oxidarse y degradarse si se almacenan por más de seis meses; sin embargo, la oferta actual de este tipo de combustibles es insuficiente para satisfacer la demanda mundial –la oferta actual de biodiesel y bioetanol sólo puede satisfacer el 15% de la demanda; y producir más, como se ha comentado, pondría en riesgo el suministro de alimentos y la biodiversidad.

- Hidrógeno: el hidrógeno (H<sub>2</sub>) es otro combustible alternativo potencialmente atractivo y viable ya que no emite dióxido de carbono, óxido de azufre y emite cantidades insignificantes de óxido de nitrógeno. El hidrógeno puede ser utilizado como combustible de varias maneras diferentes, es decir, en celdas de combustible; en una mezcla de combustible dual con combustibles diesel convencionales y, por último, como reemplazo de HFO para su uso en maquinaria de combustión. El uso de hidrógeno como reemplazo del combustible convencional aún requiere investigación y desarrollo, particularmente para hacerlo comercialmente viable. Hasta el momento, no hay un diseño estandarizado ni un procedimiento de repostaje para buques impulsados por hidrógeno y su infraestructura de bunkering (Lindstad et al., 2015). Además, todavía hay problemas de diseño de

seguridad con respecto a la volatilidad del combustible que deben ser resueltos. A pesar de la falta de estudios rigurosos de viabilidad comercial sobre el hidrógeno como combustible, muchas investigaciones se han centrado en métodos de producción de hidrógeno sostenible. Hoy en día, hay dos técnicas comunes que se utilizan para producir hidrógeno: mediante reformado de metano con vapor y electrólisis con agua (Bicer, 2018). El último ha ganado más atención debido a su reciente desarrollo tecnológico que hace posible el uso eficiente de energía renovable para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno.

- Amoníaco: el amoníaco (NH<sub>3</sub>) es un transportador de hidrógeno que se puede usar en celdas de combustible o como combustible para la combustión directa. Tiene la ventaja de tener un alto contenido de hidrógeno que no contiene átomos de carbono. El amoníaco por lo tanto, no emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y las emisiones de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son cercanas a cero. A diferencia del hidrógeno, el uso de amoníaco como combustible marino se encuentra todavía en una fase de investigación y desarrollo, aunque ya se ha utilizado con éxito en instalaciones terrestres para alimentar autobuses. Hasta la fecha, no hay ningún barco operativo que funcione con amoníaco. La ventaja del amoníaco en comparación con el hidrógeno es que su forma líquida permite más almacenamiento de hidrógeno por metro cúbico que el hidrógeno líquido y sin la necesidad de criogenización (alta presión, muy baja temperatura), lo que lo convierte en un "portador" de hidrógeno adecuado. Otra ventaja es que puede almacenarse a una temperatura (-33.4 C) que es más fácil de mantener comparada con la necesaria para mantener

el hidrógeno (-252.9 C). Se puede usar de diferentes maneras para la propulsión (por ejemplo, en motores diesel, pilas de combustible, turbinas de gas, etc.), lo que lo convierte en una opción muy competitiva. El estudio de evaluación del ciclo de vida realizado por Bicer (2018) muestra que cuando el amoníaco se usa como combustible dual con HFO, puede producir una reducción del 27% de las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada-kilómetro en el ciclo de vida general. Además, el amoníaco producido usando energía eólica que se usa como combustible dual, donde se usa 50% de amoníaco en combinación con 50% de HFO, puede reducir las emisiones totales del ciclo de vida del CO<sub>2</sub> hasta 34,5% por tonelada-kilómetro. Esto implica que el amoníaco puede ofrecer una solución atractiva a corto plazo en configuraciones de combustible dual con viabilidad comercial razonable. Además, nuevos desarrollos de amoníaco como complemento reemplazo de HFO también pueden ofrecer una alternativa prometedora para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a largo plazo. Al igual que el hidrógeno, los métodos de producción de amoníaco han avanzado considerablemente en los últimos años. Esto se debe en parte al hecho de que el amoníaco es un producto básico ampliamente comercializado en todo el mundo y predominantemente utilizado como un fertilizante. Ya existe una importante infraestructura de carga de puertos, manejo, experiencia y conocimientos de seguridad. Si bien la producción es teóricamente factible en todos los países, China actualmente produce aproximadamente el 31% del amoníaco total mundial, seguido por Rusia (8,7%), India (7,3%) y Estados Unidos (7%) (Servicio Geológico de EE. UU., 2018). Otros grandes productores son Canadá, Indonesia, Arabia Saudita y Trinidad y Tobago. El método común para producir

amoníaco comercial es el uso de la conversión de procesos Haber-Bosch, convirtiendo hidrógeno y nitrógeno usando altas temperaturas y un catalizador. Hoy en día, este método se puede realizar usando energía solar, eólica o hidroeléctrica a través de la electrólisis, lo que le da al amoniaco una ventaja competitiva en comparación con la producción de HFO. La producción "verde" de amoniaco podría desarrollarse fácilmente donde las fuentes de energía renovables son abundantes. Las próximas centrales hidroeléctricas en África, por ejemplo, pueden proporcionar su gran exceso de producción que ofrece nuevas posibilidades para la producción local de amoniaco (Philibert, 2017). No obstante, para ser viable, el amoniaco sostenible debe ser más competitivo en comparación con el amoniaco convencional, de los cuales el 90% de la producción todavía depende de combustibles fósiles tales como el gas natural. Mientras que en los EE.UU., bajo condiciones más favorables, el coste de producir amoniaco verde todavía es dos veces más alto que el amoniaco a base de gas natural, en regiones donde los recursos son especialmente abundantes, el coste de la energía hidroeléctrica, solar y eólica puede caer por debajo de USD 0,03 por kilovatio hora. Según la AIE, esto incluiría regiones como el Cuerno de África, Australia, África del Norte, el norte de Chile, el sur del Perú, La Patagonia y Sudáfrica, así como varias regiones en China. Tales bajos precios de la electricidad podrían permitir una producción de combustibles sintéticos sostenibles competitivos con reforma de gas natural, craqueo de petróleo o carbón gasificación (IEA, 2017). Sin embargo, estudios más conservadores expresan la preocupación de que los excedentes mundiales de la energía renovable podrían no ser suficientes para cubrir la

demanda de combustible sintético en el futuro (Bracker, 2017). Para el desarrollo de estas fuentes de energía se necesitaría una cantidad significativa de inversiones adicionales. Si para el año 2035 se utilizan volúmenes de combustibles sintéticos, como el hidrógeno y el amoniaco, sería esencial garantizar que los procesos de producción se basen en la generación de electricidad renovable. De lo contrario, no se podría garantizar una mejora en las emisiones de CO<sub>2</sub> comparación con el HFO convencional.

- **Metanol:** el metanol podría ser uno de los futuros combustibles marinos. Hoy en día, la mayor parte del metanol se produce a partir de gas y tiene un potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de alrededor del 25% en comparación con el HFO. Comparado con HFO, el metanol tiene un potencial de reducción de emisiones del 99% para SO<sub>x</sub>, 60% para NO<sub>x</sub> y 95% para materia particulada (PM). Sin embargo, el metanol también se puede producir a partir de recursos de energía renovable, como la captura de CO<sub>2</sub>, residuos industriales, residuos municipales o biomasa, lo que reduce significativamente su impacto en el efecto invernadero. El metanol se encuentra disponible en grandes cantidades y se puede producir a partir de una amplia cantidad de recursos. Como hay una larga historia de cómo transportarlo, la experiencia en manejo y operación ya existe. El metanol también es conveniente porque sólo requiere modificaciones menores a los buques y la infraestructura de bunkering ya que es similar a los combustibles actuales en varios aspectos. Se puede usar en motores de combustión. La regulación para su uso es menos restrictiva porque generalmente es más seguro que los combustibles convencionales y el GNL. Hasta ahora, el

metanol ha sido empleado como combustible de transporte en una base significativa solo para automóviles en China, donde es económico y está fácilmente disponible, ya que se produce a partir de carbón teniendo así un impacto negativo de GEI (IMO, 2016; Andersson y Márquez Salazar, 2015). Suecia está a la vanguardia del desarrollo de los barcos propulsados por metanol. Un proyecto piloto fue lanzado con el apoyo del programa EU Motorways of the Seas, para convertir un buque RoPax en un buque con motor de metanol y proporcionar bunkering, así como otras instalaciones necesarias en los puertos. Este proyecto ha llevado al desarrollo de Stena Germanica, un gran ferry para pasajeros y automóviles que opera entre Gotemburgo y Kiel. Es el primer barco que opera con metanol. El metanol utilizado por el barco es suministro a Stena por Methanex, el proveedor de metanol más grande del mundo y que lo produce a partir de gas natural, por lo que no logra el máximo potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> que podría lograr. La compañía se asoció con Wärtsilä para hacer los cambios al motor e instalar nuevos tanques en el fondo de la nave al aprovechar los espacios vacíos en la parte inferior. Esto conllevaría una preocupación de seguridad en caso de combustibles convencionales, pero no representa un riesgo cuando se usa metanol. Se necesita un combustible inicial para encender el metanol (5% de diésel y 95% de metanol), que también es factible para cualquier buque de gran tamaño. Aunque la conversión costó 22 millones de euros, Stena espera reducciones de costes significativas de alrededor de dos tercios del coste una vez aplicado a varios barcos. Stena está buscando formas de desarrollar la producción basada en la biomasa para así lograr plenamente su potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La

compañía ya ha identificado varias fuentes potenciales para la producción de bio-metanol en Suecia. La compañía también ha desarrollado un kit de herramientas para la conversión de buques a metanol con el fin de apoyar que se replique su modelo.

- Otras mejoras técnicas: son tecnologías que al ser aplicadas ayudan a aumentar la eficiencia energética de los buques. Pueden estar relacionadas con el peso de los buques (al utilizar materiales más ligeros en su fabricación), el diseño de los mismos, maneras de reducir la fricción durante la navegación y métodos de recuperación de energía. Todas las medidas que se comentan a continuación están disponibles en el mercado, pero no todas se pueden conseguir mediante el retro-fitting y por otro lado, el potencial de reducción es variable según el tipo de buque, las condiciones de las máquinas y los perfiles operacionales de cada uno.
  - Los cascos más aerodinámicos pueden hacer más sencilla la propulsión de un buque. Los buques de este estilo tienen un consumo entre 10 y 15% menor que los tradicionales al navegar a velocidad económica y de hasta 25% por milla náutica al navegar a 15-16 nudos. Esto implicaría alterar la longitud del buque en los diseños con el fin de optimizar la longitud y la relación de plenitud del casco. Una longitud mayor implica mayor uso de acero y, por lo tanto, un precio más alto para las nuevas construcciones. La tendencia de agregar capacidad de TEUs sin aumentar la longitud del buque en la práctica ha creado portacontenedores menos delgados en las últimas décadas; ahora operan a velocidades más bajas, por lo que su esbeltez óptima del casco ahora es "más completa". Se pueden hacer también

mejoras adicionales mediante el uso de materiales más ligeros. Parte del acero pesado usado en el barco puede ser reemplazado por materiales livianos como el aluminio. La cantidad de reducción de peso depende de la cantidad de acero pesado reemplazable en cada barco y por lo tanto puede variar bastante significativamente. Un estudio de Bouman et al. (2017) encuentra un rango de posibles reducciones de CO<sub>2</sub> por el uso de materiales de construcción ligeros de entre 0 y 10%, aunque estudios más conservadores sostienen que el ahorro de energía no sería superior al 2% (Tillig et al., 2015).

- Disminución de la velocidad de servicio, bien reducción moderada o máxima reducción de velocidad de servicio. La reducción moderada implica una reducción del 6% (para buques portacontenedores) y del 9% (para buques tanque y graneleros) de los estándares de velocidad de servicio (asumiendo esta como 12,8 nudos para graneleros y buques tanque y de 18,4 nudos para buques portacontenedores, en línea con el estudio de Smith et al. (2016). Los casos de máxima reducción de velocidad serían aquellos en los que es técnicamente posible reducir en un 26% (portacontenedores), 30% (buques tanque) y 65% (graneleros) la velocidad habitual de servicio. Aunque es técnicamente posible, siempre se tendrían que tener como prioridades la seguridad, maniobrabilidad y condiciones de navegación adversas. Esta medida, que es relativamente de bajo coste, podría ayudar a reducir el 1% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Secuestro de CO<sub>2</sub> emitido por los procesos de combustión para reducirlo a una forma inerte, a día de hoy en forma de

grandes instalaciones de costes elevados que permiten utilizar combustibles con carbono sin emitir a la atmósfera el CO<sub>2</sub> que resultaría de la combustión.

- Aprovechamiento de las economías de escala y del aumento del tamaño de los buques para reducir las emisiones por unidad de carga transportada. Es una medida que aunque atractiva, resulta complicada en la práctica debido a que los buques de menor tamaño son también necesarios para satisfacer la totalidad de la demanda del transporte marítimo. Los buques más grandes, del segmento que sea, emiten menos CO<sub>2</sub> por tonelada-kilómetro, siempre que la mayor capacidad sea utilizada de manera similar. Esto implica que aumentar el tamaño promedio de los buques puede ayudar a reducir las emisiones. Una idea de los diversos estudios es que cuando la capacidad de carga del buque se duplica, la potencia requerida aumenta con dos tercios del aumento en el tamaño del barco. Quiere decir, un aumento en el consumo de combustible por el tamaño del barco pero una reducción por unidad de carga (Lindstad, 2013). Hay economías de escala para los armadores de barcos más grandes. Vale decir que la relación entre el tamaño del buque y las emisiones no es lineal. Por ejemplo, al aumentar un buque granelero de 26.000 a 46.000 TPM, las emisiones por tonelada milla (nm) se reducen en un 33%, mientras que un aumento de 46 000 a 72 000 TPM ofrece solo una reducción adicional del 17% (Lindstad et al., 2012). Las emisiones de CO<sub>2</sub> podrían reducirse hasta en un 30% a un costo de mitigación negativo reemplazando la flota existente con buques más grandes, de acuerdo con Lindstad et al. (2012) En ese escenario, el tamaño promedio del barco equivaldría a 106.000 TPM en comparación con 24 000 TPM en 2007.

Esta reducción se lograría gradualmente ya que la sustitución de toda la flota podría demorar hasta 25 años. Sin embargo, el tamaño-efecto de los buques más grandes podría sobreestimarse (ITF, 2015).

- Mejoras hidrodinámicas de la carena para reducir la resistencia, lo que podría generar mejoras de hasta el 10%, no solo en buques en la etapa de proyecto sino también en buques existentes mediante modificaciones del bulbo de proa. Por ejemplo, una de las medidas más aplicadas es la modificación del bulbo; este tiene la función hidrodinámica de crear olas que mitiguen las olas normalmente generadas por el casco del buque al hacer resistencia. Es una medida aplicada a todo tipo de buques y común en la industria. Podrían generar reducciones de entre 3-7% en el consumo de combustible. Otros métodos que reduzcan la resistencia podrían reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> entre 2 y 5%.
- Mejoras en el rendimiento de la hélice aumentando su diámetro, aunque podría resultar no atractivo para buques de edad avanzada debido al importe elevado de los costes. Estas son las medidas más prometedoras en cuanto a propulsión, por ejemplo instalar dos hélices para evitar la rotación del barco en lugar de una sola.

### III.

#### Conclusiones

- La Organización Marítima Internacional, los Estados y el mismo sector del transporte marítimo internacional se encuentran frente a un reto al tratar de abordar la reducción de emisiones de distinta índole (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, PM) de manera holística, ya que la reducción de uno puede generar el aumento consiguiente del otro (efecto cruzado entre SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>) y debido a que las medidas que se establezcan deben respetar el crecimiento económico de aquellos Estados en desarrollo y pequeños Estados insulares.
- Existe por parte del sector un compromiso e interés extraordinarios por avanzar en los mecanismos de reducción de emisiones de los buques.
- La Organización Marítima Internacional, en virtud de su compromiso para hacer del transporte marítimo más sostenible, ha adoptado una serie de reglamentos y medidas de eficiencia energética y creación de capacidad que tienen como objetivo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes de los buques al 50% (de los niveles de 2008) en el año 2050.
- Es posible abordar la problemática de las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo asimilándolo a las medidas adoptadas por otras industrias, como la aviación, basadas en sistemas de mercado o de compensación económica, pero existe resistencia por parte de los armadores por la complejidad práctico-jurídica que ello implica y porque conlleva una desventaja competitiva para los armadores pequeños así como para los Estados en desarrollo.

- La alternativa que más éxito ha tenido hasta ahora es la de la creación de una tasa sobre el combustible y un fondo internacional de compensación.
- A día de hoy no existen soluciones técnicas que por sí mismas sean rentables para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota existente de forma considerable, aunque, estas medidas combinadas o con mayor investigación y desarrollo, podrían cambiar la perspectiva.
- Debido a que la Estrategia de la Organización Marítima Internacional está en su etapa inicial y aún están por verse los métodos reales de aplicación, es necesario, para los armadores y otros interesados de la industria, seguir de cerca los avances que se hagan para establecer la estrategia definitiva.

#### IV.

#### Bibliografía

- Carlier M., Seco E., (2017). *Las emisiones a la atmósfera del transporte marítimo y su regulación.*
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (2018). *Efecto Invernadero.*
- Echagüe G., Torrego, A., (2000): *Cambio climático, hacia un nuevo modelo energético, Madrid, Colegio Oficial de Físicos.*
- IPCC (2014). *Cambio climático, mitigación del cambio climático.*
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental (2016). *Informe de síntesis sobre el cambio climático.*
- American Association for the Advancement of Science (2009). *Carta al senado norteamericano.*
- Franco Y., (2003). *El comercio de emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea.*
- Parmesan C., Yohe G., (2003). *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems.*
- Fischer E., Knutti R., (2015). *Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes.*

- Agencia Europea de Medio Ambiente (2016). *Climate Change, impacts and vulnerability in Europe.*
- Merida Galindo L. (2016). Blog Mar y Gerencia. *Transporte Marítimo y el reto del cambio climático.*
- International Council on Clean Transport (2017). *Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping.*
- Neira O., (2011).
- International Transport Forum (2018). *Decarbonising Maritime Transport.*
- Magnus S. Eide (2009). *Cost-effectiveness assessment of CO2 reducing measures in shipping.*
- D. Mc Collum, C. Yang (2009). *Achieving deep reductions in US transport greenhouse gas emissions: Scenario analysis and policy implications.*
- Kee-Hung Lai, Venus Y.H. Lun, Christina W.Y. Wong, T.C.E. Cheng (2014). *Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications.*
- UNCTAD (2017). *Review of Maritime Transport.*
- InfluenceMap (2018). *Decision time for the IMO on climate: The polarized struggle among states for ambitious climate policy on shipping.*
- IMO (2018). *Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Tanaloa Dialogue.*

- Sitios web de la Comisión Europea:  
[https://ec.europa.eu/clima/politicas/transport/shipping\\_es](https://ec.europa.eu/clima/politicas/transport/shipping_es)  
[https://ec.europa.eu/clima/politicas/ets/markets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/politicas/ets/markets_en)  
[https://ec.europa.eu/clima/politicas/ets\\_es](https://ec.europa.eu/clima/politicas/ets_es)  
<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/ES/COM-2017-646-F2-ES-MAIN-PART-1.PDF>
- Sitios web del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (referido en este estudio como IPCC):  
[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf)
- Sitios web del International Council on Clean Transportation:  
<https://www.theicct.org/blog/staff/whac-a-mole-on-the-high-seas>  
<https://www.theicct.org/news/study-global-shipping-emissions-rise>  
[https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_GHGfromships\\_jun2011.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_GHGfromships_jun2011.pdf)
- Sitio web de la Organización Marítima Internacional:  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- Sitio web de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de México:  
<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?idiom=es>
- Sitio web de la NASA:

<https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>

Gráficos y tablas:

- International Chamber of Shipping
- Wärtsila
- Swedish Forest Industries Federation
- Laboratory for Atmospheric and Space Physics Solar Irradiance Data Center - University of Colorado
- Gobierno de Ecuador
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España
- NASA
- International Council on Clean Transportation
- Blog Mar y Gerencia
- International Transport Forum
- Wikipedia
- UNFCCC