



factorCO<sub>2</sub>  
10years

Series CO<sub>2</sub>

***Black Carbon y sus efectos  
en el clima***



# ***Black Carbon* y sus efectos en el clima**

## **Balance y perspectivas**

Documento elaborado por Factor CO<sub>2</sub>  
Junio de 2014

Kepa Solaun  
Asier Sopelana  
Estibaliz Arraibi  
Maite Pérez

Las publicaciones "Series CO<sub>2</sub>" son realizadas de manera independiente y autónoma por Factor CO<sub>2</sub>, sin contar con ninguna colaboración y/o financiación externa.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### Índice

<b>Introducción</b>	7
<b>Resumen Ejecutivo</b>	9
1. Qué es el <i>Black Carbon</i>	10
2. Cómo nos afecta	10
3. Cómo abordar el <i>Black Carbon</i>	10
4. Propuesta de hoja de ruta	11
<b>1. Qué es el <i>Black Carbon</i></b>	12
1.1. Los colores del carbono	13
1.2. <i>Black Carbon</i> y cambio climático	14
<b>2. Cómo nos afecta</b>	16
2.1. Efectos sobre el clima	17
2.2. Efectos sobre la salud	18
<b>3. Cómo abordar el <i>Black Carbon</i>: Metodología PER</b>	21
3.1. Principales focos de emisión: Presión	23
3.1.1. Principales regiones emisoras de <i>Black Carbon</i>	23
3.1.2. Principales fuentes emisoras de <i>Black Carbon</i>	24
3.2. Inventarios de emisiones: Estado	26
3.2.1. Inventarios de emisiones específicos	27
3.2.2. Fuentes estacionarias	28
3.2.3. Fuentes móviles	30
3.3. Posibles medidas de reducción: Respuesta	35
<b>4. Propuesta de hoja de ruta</b>	39
4.1. Eje científico-técnico	40
4.2. Eje institucional	40
4.3. Eje privado	41
<b>Anexos</b>	43
Índice de figuras	44
Índice de tablas	44
Relación de acrónimos	45
Bibliografía	46



## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### Introducción

Cuando hablamos del cambio climático y de sus causas, lo más frecuente es dirigir nuestra atención hacia los gases de efecto invernadero. A menudo olvidamos que, además de estas emisiones, existen otros fenómenos de origen antropogénico que juegan un factor decisivo. Entre ellos, destacamos los llamados Contaminantes Climáticos de Vida Corta, entre los que se encuentra el *Black Carbon*.

Las Series CO<sub>2</sub> nacieron con el objetivo de arrojar luz sobre aspectos novedosos y relevantes dentro del mundo del cambio climático, a los que nos parece importante mirar con atención. Con la edición "*Black Carbon* y sus efectos en el clima" pretendemos poner de manifiesto la importancia de este elemento a la hora de abordar la mitigación del cambio climático, incidiendo en las consecuencias negativas que acarrea, las principales fuentes que generan sus emisiones y las posibles medidas de reducción disponibles. De esta forma, podremos conocer los primeros pasos que ya se están dando y vislumbrar una posible hoja de ruta para abordar este fenómeno.

Diversos agentes institucionales a nivel internacional ya han comenzado a alertar sobre estas sustancias, afirmando que su reducción podría suponer una forma de mitigar el cambio climático muy efectiva a corto plazo, además de altamente beneficiosa para nuestra propia salud.



**Kepa Solaun**  
Director de Factor CO<sub>2</sub>





# Resumen Ejecutivo

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

### Resumen Ejecutivo

A la hora de abordar posibles medidas de mitigación del cambio climático conviene tener en cuenta los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC), como el *Black Carbon*, que causan serios daños en la salud humana. Estas sustancias están presentes en el aire de las ciudades, espacios rurales y hogares, y son causantes de numerosas patologías respiratorias y muertes prematuras en todo el mundo.

#### 1. Qué es el *Black Carbon*

El *Black Carbon* es uno de los CCVC, junto con el ozono troposférico, el metano y los hidrofluorocarbonos (HFC).

Generado a partir de la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles o biomasa, se trata de un componente de materia particulada fina (PM2.5, por sus siglas en inglés) que permanece durante un periodo de tiempo relativamente corto en la atmósfera, a diferencia de gases como el CO<sub>2</sub>.

#### 2. Cómo nos afecta

El *Black Carbon*, presente en el aire que respiramos, provoca importantes efectos negativos sobre la salud, ya que por su pequeño tamaño estas partículas son inhaladas por el ser humano y pueden afectar directa o indirectamente al sistema pulmonar y los bronquiolos e incrementar el riesgo de padecer infecciones respiratorias,

contribuyendo a aumentar la tasa de muertes prematuras y de numerosas enfermedades respiratorias y cardiovasculares registradas a nivel mundial.

Asimismo, estas partículas son consideradas por la Comisión Europea como la primera causa de muerte prematura en materia medioambiental (Comisión Europea, 2013). En lo que respecta al cambio climático, pese a su corta permanencia en la atmósfera, estas sustancias son un potente forzante climático, mediante la absorción de radiación solar, que vuelven a emitir en forma de calor.

#### 3. Cómo abordar el *Black Carbon*

Las emisiones de *Black Carbon* están íntimamente relacionadas con la forma de producción que utiliza una región o país. Históricamente, los países desarrollados eran los mayores emisores, si bien tras la adopción de tecnologías de control de contaminación su calidad del aire ha mejorado de manera sustancial.

Por el contrario, en la actualidad son las regiones en desarrollo las que más *Black Carbon* emiten, especialmente Asia, Latinoamérica y África.

Las mayores emisiones de esta sustancia se generan a partir de la quema de biomasa, la quema de biocombustibles y los motores diesel para el transporte y para uso industrial. En España, concretamente, la principal

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

actividad emisora de *Black Carbon* es el transporte, con un 34%, seguido por la combustión en otros sectores y la combustión en industrias del sector energético.

En cualquier caso, resulta de especial interés promover e impulsar un mayor control de estas sustancias contaminantes a través del desarrollo de un inventario de emisiones específico, así como fomentar medidas de reducción adecuadas.

### 4. Propuesta de hoja de ruta

Numerosas instituciones internacionales han comenzado ya a integrar la reducción del *Black Carbon* y otros contaminantes atmosféricos en sus estrategias de acción frente al cambio climático, dando los primeros pasos para transmitir la importancia de lograr una reducción significativa de estas sustancias a nivel mundial.

Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, ya que las principales medidas contempladas distan aún de convertirse en un marco regulatorio sólido que limite estas emisiones a gran escala. Por ello, consideramos que la hoja de ruta a establecer podría pasar por tres ejes claves: el eje científico-técnico, el institucional y el privado.

Desde estas áreas podrían abordarse aspectos como la investigación y la divulgación científica, la financiación multilateral, el establecimiento de un marco

de referencia internacional o el involucramiento por parte del colectivo empresarial.

Con todo ello, este informe pretende realizar una aproximación a la problemática de las sustancias contaminantes actualmente presentes en la atmósfera, como el *Black Carbon*, que contribuyen a acelerar y agravar el cambio climático con importantes consecuencias para la salud humana. Para ello se utilizará la metodología de Presiones-Estados-Respuestas (PER) desarrollada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE).



# 1. Qué es el *Black Carbon*

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

### 1. Qué es el **Black Carbon**

El llamado carbono negro, o *Black Carbon*, por su nomenclatura en inglés, es uno de los principales contribuyentes al cambio climático. Se trata de un conjunto de contaminantes atmosféricos con los que convivimos en nuestra vida cotidiana, que conllevan numerosos efectos negativos para el entorno y el ser humano.

A menudo desplazado a un segundo plano a la hora de abordar la problemática del cambio climático, su mitigación podría resultar decisiva para abordar el reto de frenar los impactos climáticos y mejorar la calidad de vida de las personas.

#### 1.1. Los colores del carbono

Cuando hablamos de forzantes climáticos de origen antropogénico, con frecuencia se suele hablar de cuatro colores o "tipos de carbono" que juegan un papel significativo en la influencia humana en el clima y, por tanto, suponen cuatro retos que abordar en el marco de la acción frente al cambio climático.



El primero es el llamado "carbono verde", almacenado en la biomasa de plantas y suelos de las tierras forestales, los pastizales y cultivos, o en ecosistemas naturales como selvas tropicales, bosques y praderas. Estos organismos y ecosistemas actúan como sumideros de carbono, capturando el carbono atmosférico durante su actividad fotosintética. El potencial de estos organismos es tal, que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, en adelante) estima que de implementarse acciones para reducir la deforestación y promover la reforestación, el 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI, en adelante) proyectadas para 2050 podrían ser secuestradas y almacenadas en estos reservorios durante siglos." (*Blue Carbon*, 2013).

Por otro lado, es importante también el llamado "carbono azul" o *Blue Carbon*. Este es capturado por organismos marinos, como el fitoplancton, durante el proceso fotosintético. Los manglares, las marismas de marea y las praderas oceánicas actúan como principales sumideros de carbono, almacenándolo



## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

en forma de sedimentos marinos y reteniéndolo durante milenios bajo las aguas de los océanos.



Cuando hablamos de cambio climático, sin embargo, más frecuentemente pensamos en las emisiones de GEI, el llamado "carbono marrón". Estas emisiones son generadas principalmente en procesos de utilización de fuentes fósiles de energía y han sido objeto de atención preferente por parte de organizaciones públicas y privadas en todo el mundo.

Por último, el "carbono negro" o *Black Carbon*, en el que se centra este informe, está compuesto por partículas que son emitidas a la atmósfera por procesos de combustión incompleta. Así, se generan partículas como el hollín y el polvo atmosférico, que contribuyen de manera considerable al cambio climático y resultan altamente perjudiciales para la salud humana.



### 1.2. **Black Carbon y cambio climático**

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), las materias particuladas (PM, en adelante), como es el *Black Carbon*, consisten en una compleja mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Las partículas se clasifican, en función de su diámetro aerodinámico, en PM10 (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10  $\mu\text{m}$ ) y PM2.5 (diámetro aerodinámico inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ ), como el caso del *Black Carbon* (OMS, 2011).

Estas partículas absorben la radiación solar, volviendo a emitirla en forma de calor en la atmósfera. Asimismo, cuando se hallan sobre nieve o hielo, oscurecen estas superficies, disminuyendo su reflectividad y aumentando la absorción de calor, acelerando así los procesos de fusión. Adicionalmente, alteran las propiedades y la distribución de las nubes y su comportamiento.

De acuerdo con el Instituto de Gobernanza y Desarrollo Sostenible (IGSD, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos las emisiones de *Black Carbon* constituyen la segunda mayor contribución al cambio climático, por detrás del CO<sub>2</sub> (IGSD, 2008), y según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) "su reducción podría ralentizar la tasa de calentamiento durante los dos-cuatro próximos años mientras que el mundo aborda el problema a largo plazo de las emisiones de CO<sub>2</sub> y realiza el cambio hacia una economía baja en carbono." (PNUMA, 2011a)

Asimismo, dicho organismo recoge en su informe una serie de medidas de reducción de los cuatro principales Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC, en adelante) y sus posibles

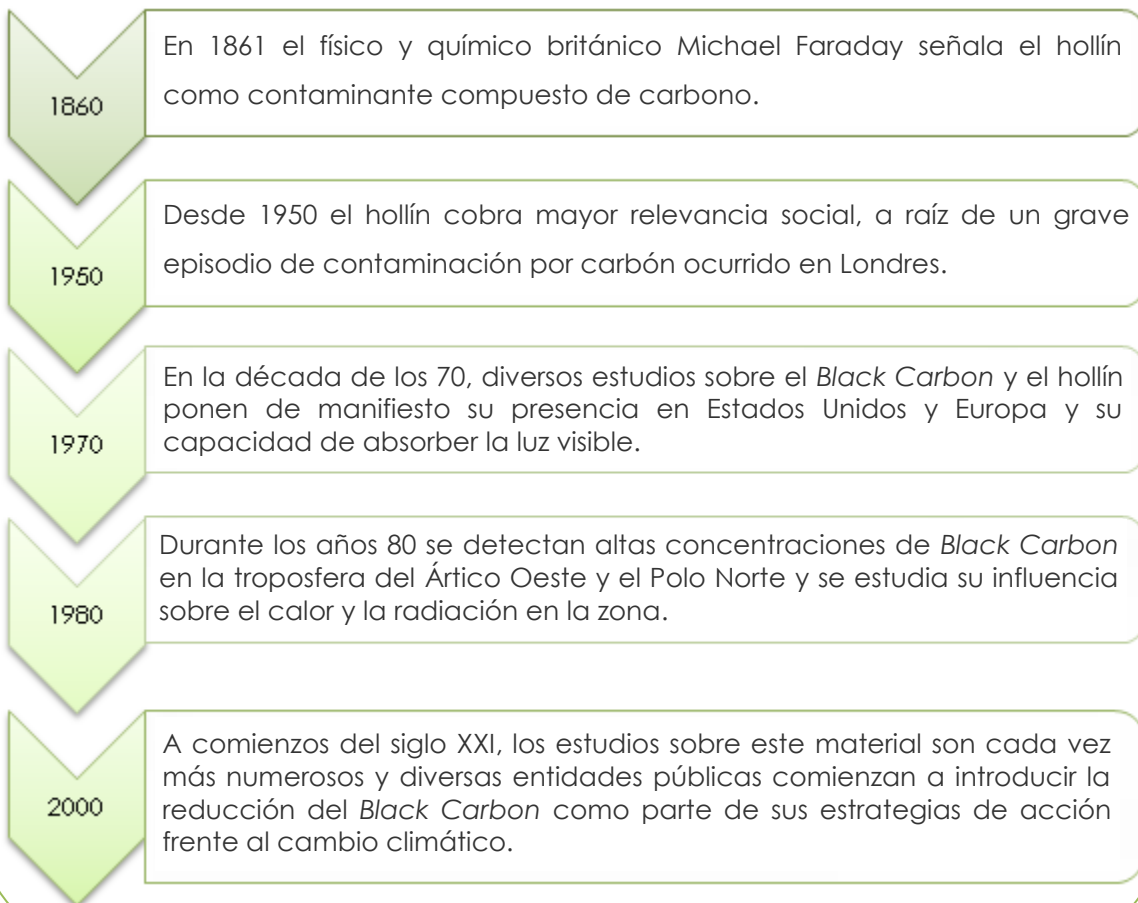
## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

consecuencias favorables, afirmando que, de implementarse para 2030:

- ♦ Se evitarían unas 2,4 millones de muertes prematuras al año como consecuencia de la contaminación atmosférica.
- ♦ Se reduciría el calentamiento global en aproximadamente 0,4°C para 2050.
- ♦ Se evitaría la pérdida de más de 30 millones de toneladas métricas de cuatro cultivos principales (trigo, arroz, maíz y soja).

Dada su corta permanencia, reducir estas emisiones tendría un efecto muy rápido sobre su concentración atmosférica, pudiendo incidir de forma relativamente rápida en el clima, en contraste con lo que sucede con las emisiones de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>.

### Un poco de historia...



The image shows a panoramic view of a city, likely Santiago de Chile, from a high vantage point. The foreground is a grassy hillside with several tall, thin trees. The city below is densely packed with buildings, and the background shows a wide expanse of water and distant mountains under a clear blue sky. On the left side, there is a decorative graphic consisting of four vertical green dashed lines of varying lengths, each ending in a solid green circle. A horizontal green dashed line extends from the bottom of the second line from the left towards the right, where it meets the start of the section header.

## 2. Cómo nos afecta

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### 1. Cómo nos afecta

En la actualidad, las principales medidas de acción frente al cambio climático se centran en la mitigación o reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, principal GEI, así como en la adaptación a las consecuencias derivadas del mismo. Sin duda, se trata de una estrategia adecuada y que trata de abordar de raíz uno de los principales forzantes del clima.

No obstante, como hemos visto, la reducción de emisiones de los CCVC también puede resultar determinante para lograr estos objetivos de mitigación del cambio climático. Centrándonos en el *Black Carbon* y en su presencia actual en la atmósfera, a continuación se exponen los principales efectos que este ejerce sobre el medio ambiente y la salud pública:

#### 2.1. Efectos sobre el clima

El principal impacto negativo del *Black Carbon* sobre el medio ambiente reside en su alta contribución al cambio climático, ya que genera efectos radiativos: sus propiedades absorbentes de luz hacen que convierta la energía de la luz en calor y caliente el aire que le rodea (EPA, 2012). Cuando estas partículas están suspendidas en el aire, la luz que sería absorbida o reflejada en la superficie es redistribuida en la atmósfera. Así, el *Black Carbon* reduce la cantidad de luz que se refleja y vuelve al espacio, aunque hay que señalar que esta reducción se hará en función de la reflexividad de la superficie sobre la que se encuentre, su mezcla con otras partículas y el tamaño de las mismas.

Asimismo, es destacable su interacción con la nieve y el hielo. Cuando las partículas de *Black Carbon* se hallan sobre estas superficies, las oscurecen. A esta disminución de reflectividad se le denomina efecto albedo. Como consecuencia, se calientan más rápidamente y se acelera su fusión.

Por otro lado, también ejerce un impacto sobre las nubes, aunque existe mayor incertidumbre al respecto. El resultado se traduciría en unas nubes con elevada cantidad de *Black Carbon* que resultan menos reflexivas de lo normal, ascendiendo a diferentes niveles atmosféricos y alternando los ciclos de la lluvia y su localización. Además, el *Black Carbon* contribuye a la formación de nubes marrones atmosféricas con grandes impactos regionales (cambios en patrones de lluvia y gradientes de temperatura y monzones, entre otros.) Las zonas más vulnerables a estos efectos medioambientales son el Ártico y Asia (principalmente el Himalaya y la meseta tibetana).

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

### 2.2. Efectos sobre la salud

Además de los mencionados impactos en el clima, la presencia del *Black Carbon* en la atmósfera conlleva graves efectos negativos sobre la salud humana. Se tiende a estudiar su impacto dentro del conjunto de materias particuladas que, según la OMS (OMS, 2011), afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Además del *Black Carbon*, sus principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco y el cloruro sódico.

De acuerdo con dicho organismo, aquellas clasificadas como PM<sub>2.5</sub>, como el caso del *Black Carbon*, suponen mayor peligro porque pueden ser inhaladas, afectando a los bronquiolos y los pulmones. Así, afirma que la mayoría de la población urbana y rural de los países desarrollados y en desarrollo está actualmente sometida a niveles de exposición de materias particuladas en los que ya se dan sus efectos, como el aumento del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y cáncer de pulmón.

En esta línea, alerta del riesgo de infección aguda en las vías respiratorias inferiores y la mortalidad por esta causa entre niños pequeños como consecuencia de la exposición a los contaminantes derivados de la quema de combustibles fósiles sólidos en espacios abiertos y las cocinas tradicionales en espacios cerrados, así como del riesgo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón entre los adultos debido a la polución atmosférica en espacios interiores.

Asimismo, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, en adelante, por sus siglas en inglés) también advierte de los impactos de las partículas PM sobre la salud, que pueden causar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares, ataques cardíacos y arritmias. Además, puede afectar al sistema nervioso central y al sistema reproductivo y causar cáncer, afirmando que un resultado de la exposición a PM puede ser la muerte prematura (EEA, 2013).

Precisamente en torno a estas cuestiones, la OMS publicaba recientemente un informe sobre la tasa de mortalidad relacionada con la contaminación atmosférica exterior e interior a nivel mundial durante el año 2012, del que se desprendía que un total de 7 millones de muertes al año son atribuibles a esta problemática. Concretamente, 3,7 millones de esas muertes fueron causadas por la contaminación atmosférica exterior, siendo el Sudeste Asiático y el Pacífico Oeste las regiones que mayores tasas registran (OMS, 2014).

En el terreno europeo, un total de 600.000 muertes encontraron la causa en la contaminación atmosférica, de las cuales 482.000 corresponden a la contaminación exterior y 117.200 a la interior o presente en el hogar. Y es que la contaminación atmosférica, según confirma la Comisión Europea, es la principal causa de muerte prematura en materia medioambiental y el número de víctimas debido a la mala calidad del aire es superior al de los accidentes de tráfico

## Series CO<sub>2</sub>: Black Carbon y sus efectos en el clima

(Comisión Europea, 2013).

Entre las regiones más afectadas en Europa destacan los países del Este, donde la contaminación del aire es superior a la media europea, mientras que los países nórdicos son los que gozan de una mayor calidad del aire. Asimismo, el área de Centroeuropa se encuentra en un término medio en cuanto a la contaminación atmosférica de las anteriores regiones.

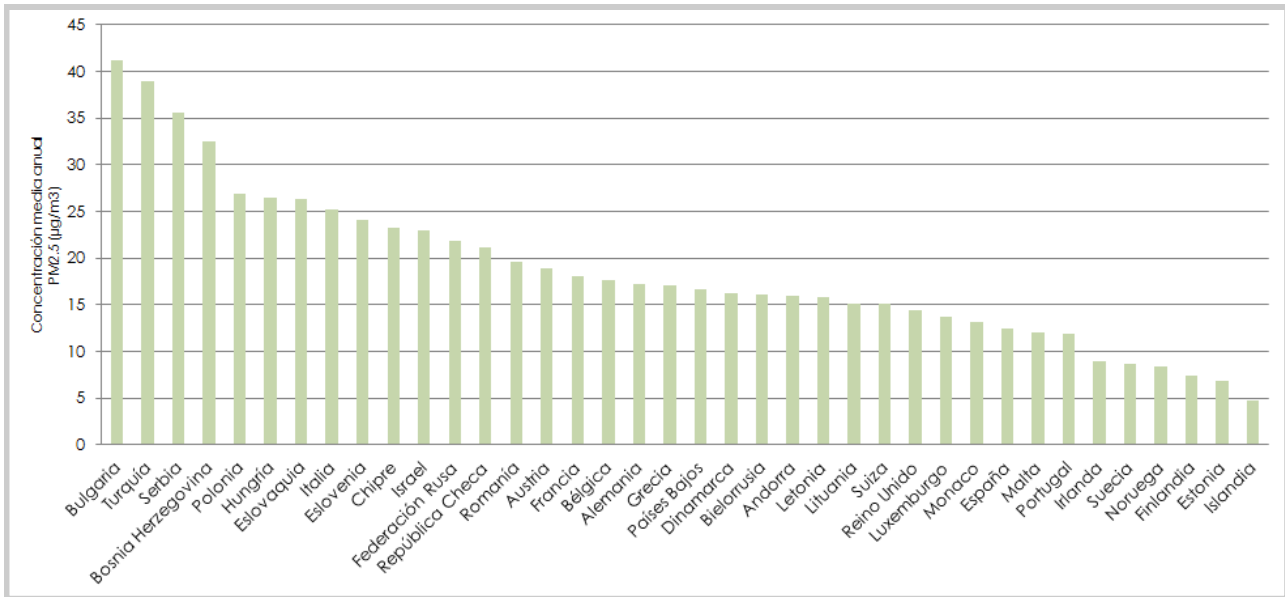


Figura 1. Niveles de PM2.5 en países europeos. Mediciones realizadas por la OMS durante 2011.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de la OMS.

En el caso de España, la calidad del aire es superior a la de países como Alemania, Reino Unido, Francia, Bélgica o Italia; pero menor que en otros como Suecia, Irlanda, Portugal o Noruega. Por ello, podemos afirmar que el país se encuentra por debajo de la media europea en lo que a la contaminación atmosférica por PM2.5 se refiere.

Respecto a las cifras de las diferentes comunidades autónomas españolas, las mediciones más recientes realizadas por esta autoridad sanitaria corresponden al año 2011 y fueron tomadas en 46 ciudades del país, centrándose especialmente en las sustancias PM2.5.

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

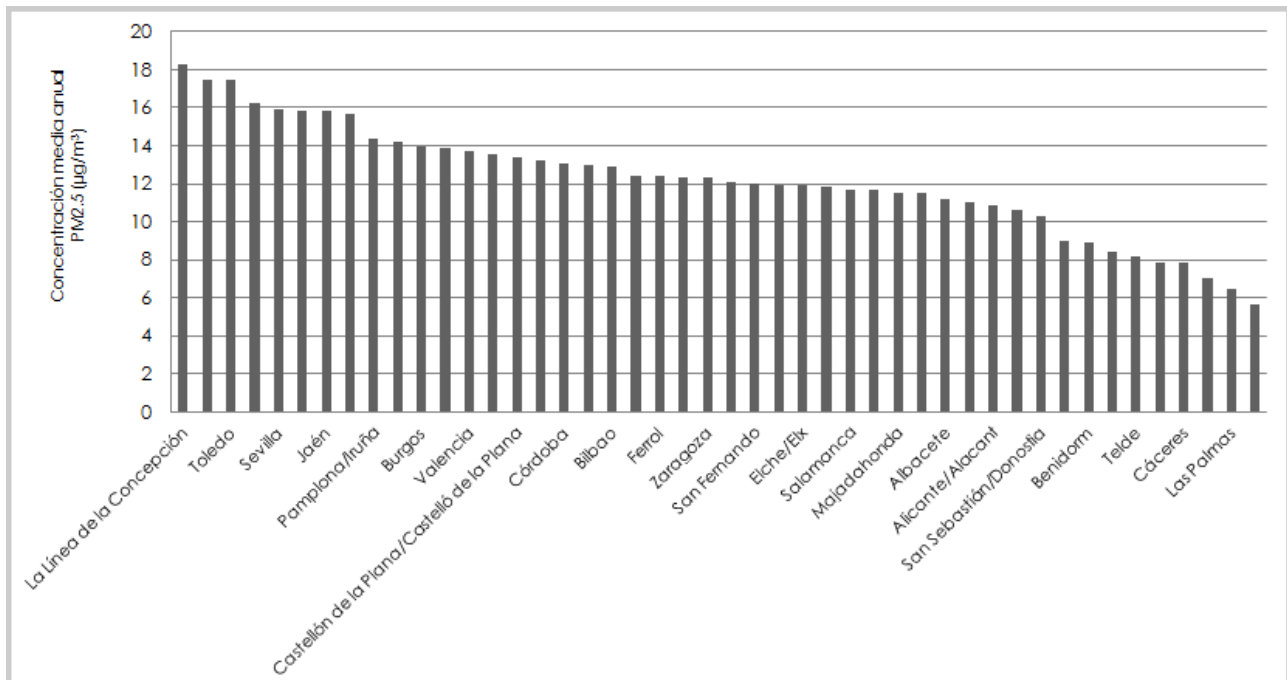


Figura2. Niveles de PM2.5 en ciudades españolas. Mediciones realizadas por la OMS durante 2011.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de la OMS.

Del análisis se desprende que, de las ciudades estudiadas, La Línea de la Concepción, en Cádiz, es la que mayor contaminación por PM2.5 registra. A dicha región le siguen Málaga, Toledo, Logroño y Sevilla. Por el contrario, al final de la lista encontramos a Arrecife y Las Palmas de Gran Canaria, que son las que registran menores tasas, seguidas por Marbella, Cáceres y Palma de Mallorca (OMS, 2014).



### 3. Cómo abordar el *Black Carbon*: Metodología PER

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

### 3. Cómo abordar el Black Carbon: Metodología PER

Como modelo explicativo para abordar un fenómeno tan complejo como el que nos ocupa, vamos a seguir la metodología desarrollada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), denominada PER (Presiones-Estado-Respuestas).

#### Indicadores ambientales. Esquema PER

Los indicadores ambientales son instrumentos, basados normalmente en información científica, que reflejan qué sucede en el medio ambiente. Así, describen las condiciones y tendencias del mismo. Los indicadores ambientales son, por tanto, herramientas esenciales para llevar un seguimiento del estado del medio ambiente, apoyar la evaluación de las políticas ambientales e informar al público.

Existen varios modelos de indicadores ambientales, uno de los más conocidos es el denominado Presión-Estado-Respuesta (PER) propuesto por Environment Canada y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 1993). El esquema PER está basado en una lógica de causalidad: las actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente y cambian la calidad y cantidad de los recursos naturales (estado). Asimismo, la sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales (respuestas). Por tanto:

- ◆ Los indicadores de presión describen las presiones que ejercen las diferentes actividades humanas sobre el ambiente y los recursos naturales.
- ◆ Los indicadores de estado se refieren a la calidad del ambiente y la cantidad y estado de los recursos naturales.
- ◆ Los indicadores de respuesta presentan los esfuerzos que realiza la sociedad, las instituciones o gobiernos orientados a la reducción o mitigación de la degradación del ambiente.

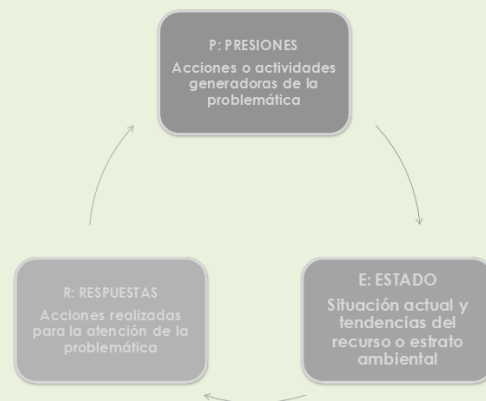


Figura 3. Esquema Presión - Estado - Respuesta (PER).

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de la OCDE (1993).

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### 3.1. Principales focos de emisión: Presión

En primer lugar, se deben evaluar las actividades o acciones que causan las emisiones de *Black Carbon*. Estas actividades emisoras se analizarán desde dos perspectivas: atendiendo a la distribución geográfica de las emisiones o en función de las principales fuentes de emisión.

#### 3.1.1. Principales regiones emisoras de *Black Carbon*

Históricamente, los principales emisores de *Black Carbon* eran los países desarrollados. No obstante, tal como se ha comentado anteriormente, tras la adopción de tecnologías de control de contaminación a partir de los años 50, los países en desarrollo se han convertido hoy en día en la principal fuente de emisión, con una tendencia que va en aumento (Ramanathan et al., 2008).

En el año 2000, las emisiones totales globales de *Black Carbon* se estimaron en torno a los 8,4 millones de toneladas. Asia, África y América Latina se encuentran entre las regiones que mayores cantidades de *Black Carbon* emiten.

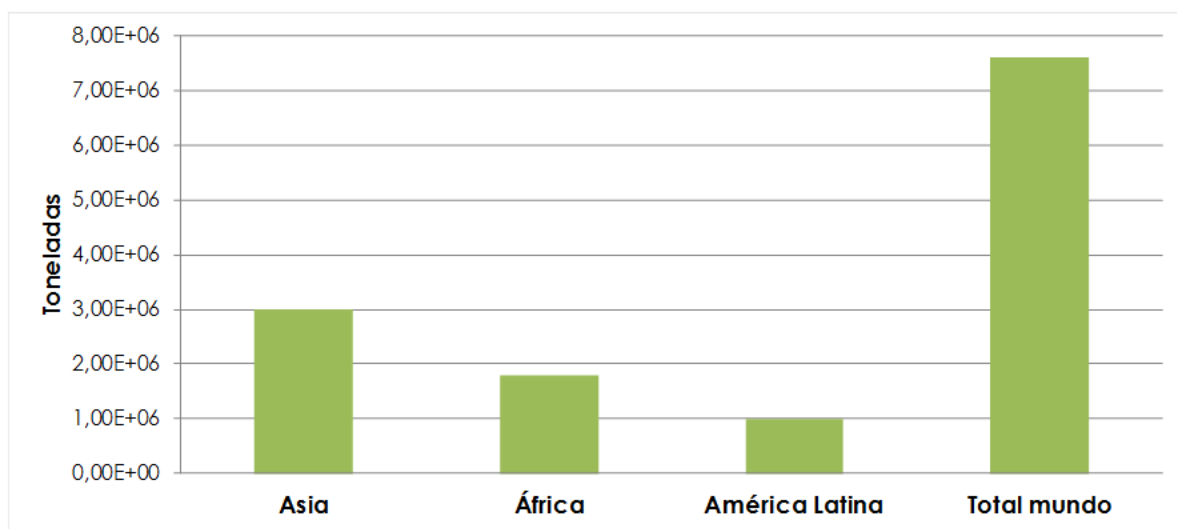


Figura 4. Emisiones de *Black Carbon* en Asia, África y América Latina con respecto a las emisiones globales en el año 2000.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de Lamarque et al. (2010) y de la EPA (2012).

Más concretamente, las principales regiones emisoras de *Black Carbon* son, según Ramanathan et al. (2008), la llanura del Indo-Ganges, el este de China y el Sureste asiático (Indonesia incluida) en Asia; las regiones entre el sub-Sahara y Sudáfrica en África; y México, Centroamérica, Brasil y Perú en América Latina.

## Serie CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

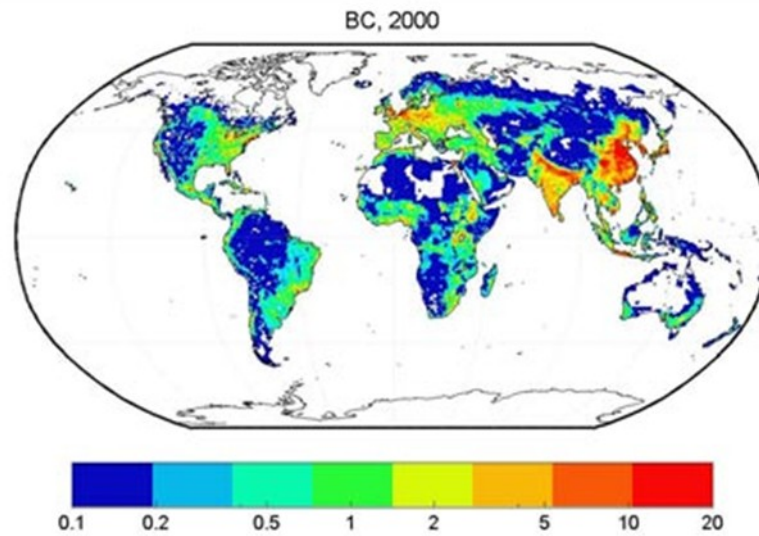


Figura 5. Emisiones de Black Carbon a nivel mundial en el año 2000.

Fuente: EPA (2012), procedente de Bond et al. (2007)

### 3.1.2. Principales fuentes emisoras de *Black Carbon*

Por otro lado, las principales fuentes de emisión de *Black Carbon* son la quema de biomasa, la quema de biofuel y carbón en residencias con tecnologías tradicionales, los motores diesel para transporte y para uso industrial, y los procesos industriales y de generación de energía (Bond, 2007). La siguiente figura muestra la distribución de las emisiones de *Black Carbon* entre las citadas fuentes.

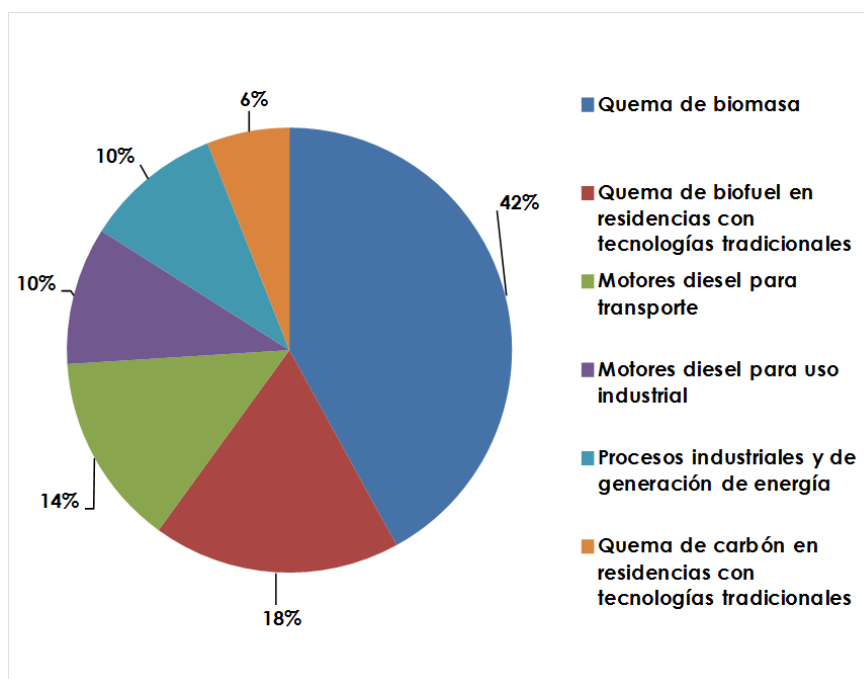


Figura 6. Distribución de las emisiones de Black Carbon en función de la fuente de emisión.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de Bond (2007).

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

**Fuentes de emisión: diferencias en la distribución de las emisiones de *Black Carbon* entre los países en desarrollo y los países desarrollados.**

En los países en desarrollo, la mayoría de las emisiones de *Black Carbon* proceden de la quema de biomasa y de fuentes residenciales.

En los países desarrollados, estas emisiones son menores y su distribución se encuentra a menudo dominada por el transporte, en especial por los vehículos con motor diesel y por la industria.

En la siguiente figura se compara gráficamente esta distribución de las emisiones de *Black Carbon* en los países en desarrollo y en los países desarrollados.

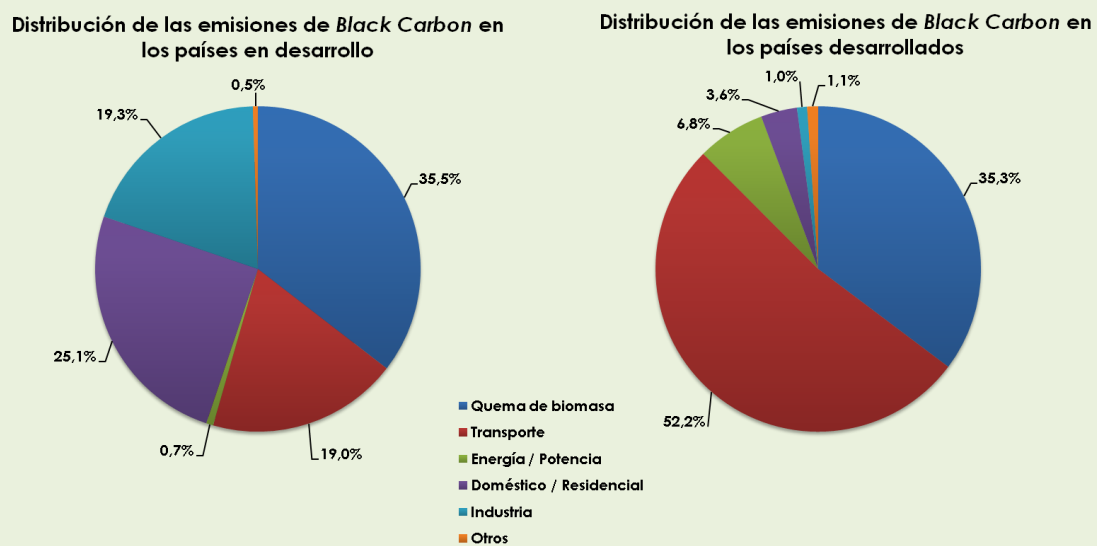


Figura 7. Distribución de las emisiones de *Black Carbon* en los países en desarrollo y en los países desarrollados.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de Lamarque et al. (2010) y de la EPA (2012).

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### 3.2. Inventarios de emisiones: Estado

Una vez detectadas las principales actividades emisoras de *Black Carbon*, el siguiente paso es analizar la situación actual de estas emisiones. No se van a mencionar aquí los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente, que han sido tratados con anterioridad.

Existen dos tipos de inventarios de emisiones a estos efectos: específicos y globales. Los inventarios específicos abarcan territorios analizados a partir de informaciones puntuales, mientras que los inventarios globales se obtienen a partir de datos de actividad procedentes de estadísticas y factores de emisión de publicaciones internacionales. En estos últimos la incertidumbre es mayor, debido a las dificultades de precisión en torno a los datos de actividad y, en especial, en torno a los factores de emisión.

#### Inventarios globales de emisiones

A diferencia de los inventarios específicos, en los que a partir de factores de emisión y datos de actividad se estiman las emisiones de *Black Carbon*, los inventarios globales más utilizados a nivel mundial, como el de Bond et al., 2004, incorporan otros factores para estimar las emisiones de *Black Carbon* tales como el tipo de fuel, el tipo de tecnología usada en la combustión o el control de emisiones.

Al igual que en el caso de los inventarios específicos, el cálculo o estimación de las emisiones de los inventarios globales se lleva a cabo siguiendo una serie de pasos que se mostrarán a continuación, y que combinan datos de actividad con factores de emisión específicos para cada país. En la siguiente figura se muestra la metodología desarrollada por Bond et al. (2004) para la estimación de emisiones.

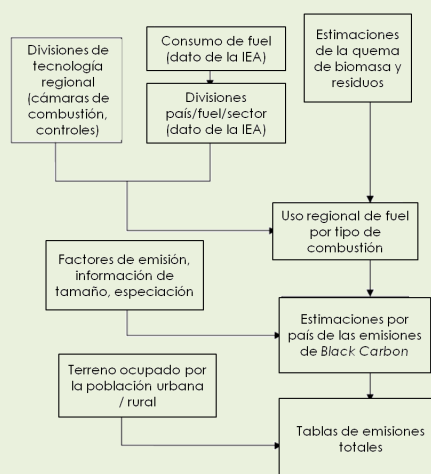


Figura 8. Metodología para la estimación de emisiones.

Fuente: Bond et al. (2004).

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

### 3.2.1. Inventarios de emisiones específicos

Uno de los más destacados inventarios específicos de *Black Carbon* es el Inventario Nacional de Emisiones de *Black Carbon* y carbono orgánico de Estados Unidos. En las próximas páginas se va a describir paso a paso la metodología seguida para la obtención de este inventario, dado que constituye una referencia clave a nivel mundial en esta materia.

Tal como describe la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, en adelante, por sus siglas en inglés) en su "Report on Congress Black Carbon" (EPA, 2012), los inventarios pueden llevarse a cabo de dos maneras diferentes: a partir de mediciones directas de emisiones o a partir de cálculos. Las mediciones de emisiones directas de *Black Carbon* no son habituales y actualmente no existe ningún inventario basado en este tipo de medidas. Por ello, los inventarios existentes hoy en día se obtienen mediante cálculos a partir de inventarios de emisiones de PM<sub>2.5</sub>.

El cálculo de estos inventarios, a su vez, se puede llevar a cabo siguiendo dos tipos de enfoques:

- ◆ Enfoque *bottom-up*. Es el más común y parte de datos de actividad de una categoría de fuente para, mediante la aplicación de factores de emisión<sup>1</sup>, generar una estimación de las emisiones de PM<sub>2.5</sub>. Posteriormente, aplicando factores de especiación<sup>2</sup>, estima la cantidad de *Black Carbon* contenida en esas emisiones de PM<sub>2.5</sub>. Las emisiones de *Black Carbon* de una categoría de fuente individual se agregan y forman estimaciones de emisiones totales de *Black Carbon*.
- ◆ Enfoque *top-down*. Este enfoque, en cambio, es muy poco habitual y en él se estiman las emisiones de *Black Carbon* mediante la técnica del "back-calculation" o retro-cálculo, a partir de emisiones de PM<sub>2.5</sub> que proceden de sensores remotos o de medidas ambientales de la cantidad de aerosoles carbonáceos contenidos en la atmósfera.

El ya mencionado Inventario Nacional de Emisiones de *Black Carbon* y carbono orgánico de Estados Unidos se ha obtenido siguiendo un enfoque *bottom-up* y empleando diferentes métodos para la estimación de las emisiones, en función de la fuente de emisión. Las fuentes de emisión pueden ser estacionarias (aquellas que permanecen fijas en un punto, como la industria o las plantas de generación de electricidad) o móviles (aquellas que incluyen las diversas formas de transporte, como vehículos, aviones, trenes o barcos). Lógicamente un inventario será más robusto en la medida en que incorpore información procedente de más métodos en un sistema coherente.

<sup>1</sup> Los factores de emisión son coeficientes que relacionan la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada con la emisión de dicho contaminante. Estos factores se expresan habitualmente como peso del contaminante dividido entre el peso, volumen, distancia o duración de la actividad.

<sup>2</sup> Los factores de especiación son coeficientes que caracterizan la composición de las emisiones en función de las fuentes específicas de polución del aire.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### 3.2.2. Fuentes estacionarias

Entre las principales fuentes estacionarias emisoras de *Black Carbon* se encuentran la combustión de combustibles fósiles, las fuentes industriales y la quema de biomasa. Como ya se ha comentado anteriormente, las emisiones de *Black Carbon* de este tipo de fuentes se estiman a partir de emisiones de PM<sub>2.5</sub> y de factores de especiación.

Las emisiones de PM<sub>2.5</sub> proceden del Inventario Nacional de Emisiones de la EPA (NEI, 2011) y los factores de especiación de la base de datos de la EPA SPECIATE (SPECIATE, 2014). Este cálculo se ha llevado a cabo siguiendo los siguientes pasos:

#### Cálculo de las emisiones de PM<sub>2.5</sub>

El método básico para el cálculo de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> de fuentes estacionarias sigue la fórmula descrita por la ecuación 1:

$$E = A * FE * \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

- ◆ E: emisiones de PM<sub>2.5</sub> (unidades de masa)
- ◆ A: dato de actividad. Este término hace referencia al peso, volumen, distancia o duración de la actividad asociada a la emisión de un contaminante a la atmósfera.
- ◆ FE: factor de emisión. Los factores de emisión empleados en este cálculo proceden de la base de datos "AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors", primera recopilación de información sobre factores de emisión de la EPA, que fue publicada en 1972 (AP-42, 1972). Recientemente, esta AP-42 ha sido transferida a la base de datos "FIRE 6.25 Data System" de la EPA (Web FIRE, 2010).
- ◆ ER: eficiencia en la reducción de emisiones. Este término hace referencia a la posibilidad de reducir las emisiones de PM<sub>2.5</sub> en la fuente, a través de la aplicación de una serie de controles como filtros de mangas o precipitadores electrostáticos. Si no se dan este tipo de medidas, este término sería nulo (ER=0). En todo caso, no está documentado, por lo que la incertidumbre asociada es elevada.

#### Cálculo de las emisiones de *Black Carbon*

Una vez estimadas las emisiones de PM<sub>2.5</sub>, se pueden estimar las emisiones de *Black Carbon* aplicando un determinado factor de especiación, tal como indica la ecuación 2:

## Series CO<sub>2</sub>: Black Carbon y sus efectos en el clima

$$BC = E * F_{BC}$$

(Ecuación 2)

Donde:

- ♦ BC: emisiones de *Black Carbon* (unidades de masa)
- ♦ E: emisiones de PM<sub>2.5</sub> (unidades de masa)
- ♦ F<sub>BC</sub>: factor de especiación<sup>3</sup>. Este término indica la fracción de PM<sub>2.5</sub> que es *Black Carbon*

En la tabla 1 se muestran algunos ejemplos de perfiles de especiación para PM<sub>2.5</sub>, junto con el factor de especiación correspondiente al *Black Carbon* (conocido como EC o *Elemental Carbon* en esta base de datos).

P_NUMBER	NOMBRE DEL PERFIL DE ESPECIACIÓN	FACTOR DE ESPECIACIÓN (%)
3645	<i>Manure combustion</i>	0
3646		0,1523
3647		0
3648		1,2428
3649		0,3487
92050	<i>Draft onroad gasoline exhaust - simplified</i>	20,8
92049	<i>Draft non catalyst gasoline exhaust - simplified</i>	10,01
92035	<i>Draft HDDV exhaust - simplified</i>	77,12
92042	<i>Draft LDDV exhaust - simplified</i>	57,48
3861	<i>Aircrafts</i>	76
91048	<i>Draft bituminous coal combustion - composite</i>	2,1
92084	<i>Draft subBituminous coal combustion - composite</i>	
4367	<i>Lignite combustion</i>	
92025	<i>Draft distillate oil combustion - simplified</i>	10
91123	<i>Heat treating - composite</i>	1
92062	<i>Residential Coal Combustion - Composite</i>	23,95
92063	<i>Residential Natural Gas Combustion - Composite</i>	0
92072	<i>Residential Oil Combustion</i>	1
92068	<i>Residential wood combustion</i>	5,58
92071		12,5

Tabla 1. Ejemplo de perfiles de especiación compuestos para PM<sub>2.5</sub>.

Fuente: datos extraídos de la base de datos SPECIATE (2014).

<sup>3</sup> Los factores de especiación se han obtenido de la base de datos SPECIATE de la EPA (SPECIATE, 2014). Esta base recoge información referente a tres categorías de contaminantes: PM, COVs y otros grasos. Para cada categoría, se establecen diferentes perfiles de especiación (identificados con un número de perfil "P\_NUMBER"), en función de las fuentes de emisión. Para cada perfil de especiación se establecen varios factores de especiación, uno para cada una de las especies o contaminantes que conforman esa categoría; es decir, el porcentaje de las emisiones totales asociadas a cada contaminante ("WEIGHT\_PER"). La dificultad que la selección de estos factores presenta radica en la cantidad de fuentes de PM<sub>2.5</sub> existentes, frente a un limitado número de perfiles de especiación. Por ello, se debe prestar especial atención a la hora de asignar perfiles específicos a las fuentes de emisión, tal como analizó Reff et al. (2009). La última versión de esta base de datos, la 4.4, introduce un nuevo concepto: los perfiles compuestos. Muchas fuentes de emisión tienen asignados varios perfiles de especiación, por lo que se han generado estos perfiles compuestos haciendo la media de todos esos perfiles individuales. Estos perfiles son un indicador de la tendencia central de cada categoría de fuente, se identifican con el número de perfil "911xxx" y la palabra "composite" después del nombre.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### Incertidumbres del método

Cabe destacar que este método presenta una serie de incertidumbres (EPA, 2012):

- ◆ Los factores de emisión empleados en la ecuación 1 presentan una mayor o menor fiabilidad dependiendo de si se trata de una fuente puntual o no puntual (NARSTO, 2005). Las fuentes puntuales son aquellas que descargan una corriente gaseosa de contaminantes a la atmósfera procedente de focos específicos y localizados, como por ejemplo las chimeneas. Las fuentes no puntuales o difusas son aquellas que descargan los contaminantes de forma distribuida y no canalizadas. Los factores de emisión asociados a fuentes puntuales son más fiables porque éstas son más fáciles de localizar e identificar.
- ◆ Al Inventario Nacional de Emisiones de la EPA (NEI, 2011) se reportan las emisiones de PM<sub>2.5</sub> emitidas directamente como partículas primarias, que están formadas por una fracción filtrable (sólida) y otra condensable (gaseosa). Generalmente, los factores de emisión de la base de datos AP-42 no incluyen la fracción condensable, por lo que suele ser necesario estimar esta fracción, lo que introduce una cierta incertidumbre en el cálculo de las emisiones finales de *Black Carbon*.

### 3.2.3. Fuentes móviles

Las fuentes móviles incluyen las siguientes categorías según la EPA (2012): transporte terrestre por carretera con motor diesel o gasolina, uso de maquinaria agrícola y de construcción con motor diesel o gasolina, transporte marítimo comercial, transporte ferroviario y transporte aéreo.

Para la estimación de las emisiones de *Black Carbon* provenientes de fuentes móviles, se han desarrollado una serie de modelos en función del tipo de fuente. En algunos casos estos modelos permiten realizar un cálculo directo de las emisiones de *Black Carbon*, mientras que en otros es necesario calcular previamente las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y a partir de éstas estimar las de *Black Carbon*:

- ◆ Para el caso del transporte terrestre por carretera, tanto para vehículos diesel como gasolina, se calculan las emisiones de *Black Carbon* directamente aplicando el modelo "Mobile Vehicle Emission Simulator Model" de la EPA (MOVES, 2010).
- ◆ Para el caso de maquinaria agrícola y de construcción, tanto para motores diesel como gasolina, se calculan las emisiones de PM<sub>2.5</sub> mediante el modelo NONROAD de la EPA (NONROAD, 2008) y aplicándoles un factor de especiación de la base de datos SPECIATE se estiman las emisiones de *Black Carbon*.

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

- ♦ Para el caso del transporte marítimo, ferroviario o aéreo, se sigue una metodología similar a la empleada para el cálculo de emisiones de fuentes estacionarias. Cabe destacar que los factores de especiación de este tipo de fuentes presentan ciertas incertidumbres y deben ser objeto de investigación activa.

REGIÓN Y AÑOBASE	CATEGORÍAS DE FUENTE DE EMISIÓN	FUENTE DE LOS FACTORES DE EMISIÓN
Asia, 1991 y 2001	37 tipos de fuentes	- Literatura - MOBILE 5
Oeste de Europa, 1995-1998	Todos los sectores	- Extrapolación a partir de modelos de dispersión y datos ambientales
China, 1995	37 categorías de fuentes de emisión, 5 sectores diferentes (energía, industria, residencial, transporte, combustión agrícola) y 13 tipos de fuel diferentes, incluyendo biofuel	- Literatura
India, 1995	Quema de biomasa, combustibles fósiles y biofuel	- Literatura - Tests de laboratorio
India, 1996	7 tipos de fuel	- Literatura
India, 1996-1997	4 categorías de servicios, 5 de quema de carbón, 8 industriales, 2 residencial / comercial, 8 de transporte y 4 de quema de biomasa/ biofuel	- Literatura - EPA AP-42
Asia, 2000	Generación de energía, industria y sector doméstico dividido en 3 categorías (carbón, diesel o biofuel y otros,) 10 categorías de transporte y 3 categorías de quema de biomasa	- Literatura - EPA AP-42 MOBILE5 model
Asia, 2000	4 tipos de fuel (carbón, diesel, biofuel, otros)	- Literatura - EPA AP-42
China, 2000	5 sectores (generación de energía, industria, residencial, transporte, y quema de biomasa) combinado con 18 tipos de fuel.	- Literatura - Tests de laboratorio
India, 2000	8 tipos de fuel	- Literatura
India, 2001	Fuentes de área y tipos de fuel	- Literatura

Tabla 2. Inventarios específicos de Black Carbon.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de la EPA (2012).

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

### Estimación de las emisiones de **Black Carbon** para España

A día de hoy no existen inventarios específicos de emisiones de *Black Carbon* para España. Desde Factor CO<sub>2</sub> se ha realizado una estimación de las mismas, a partir de un registro existente de emisiones de PM<sub>2.5</sub> y de factores de especiación.

El registro de emisiones de PM<sub>2.5</sub> empleado para esta estimación ha sido desarrollado por la EEA (EMEP, 2013). Esta agencia viene desarrollando este tipo de inventarios, entre otros, desde el año 2000. La siguiente gráfica muestra la evolución de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> en España desde el año 2000 al 2011. Atendiendo a estos valores, se puede observar cómo las emisiones de PM<sub>2.5</sub> han descendido en torno a un 23%.

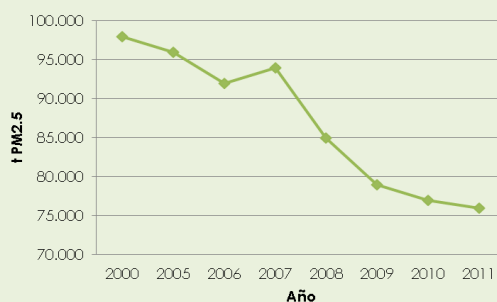


Figura 9. Evolución de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> en España desde el año 2000 al 2011.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de la EEA (EMEP, 2013).

A partir de estas emisiones de PM<sub>2.5</sub>, mediante la aplicación de factores de especiación, se han estimado las emisiones de *Black Carbon* para el último año analizado -el 2011-. Para esta estimación, en primer lugar, ha sido necesario establecer la distribución de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> entre las diferentes fuentes de emisión, tal como muestra la siguiente figura.

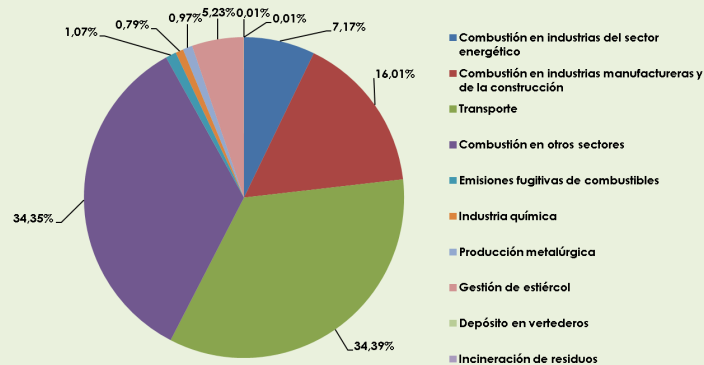


Figura 10: Distribución por sector de la emisiones de PM<sub>2.5</sub> en España en 2011.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de la EEA.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

Atendiendo a estos valores, se observa cómo el transporte y la combustión en otros sectores son las principales fuentes emisoras de PM<sub>2.5</sub>.

El siguiente paso ha consistido en el cálculo de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> por sector (a partir de esta distribución y de las emisiones totales) y la estimación de la cantidad de *Black Carbon* contenida, mediante la aplicación de factores de especiación. La estimación ideal sería aquella que empleara factores de especiación calculados específicamente para España, pero ante la ausencia de los mismos se han empleado los factores desarrollados por la EPA, al igual que hicieron otros autores (ver tabla 2).

La elección de un perfil de especiación para usarlo en una categoría de fuente en particular y así estimar con exactitud el porcentaje de PM<sub>2.5</sub> que es *Black Carbon* no siempre resulta clara y puede haber rangos significativos, ya que algunas fuentes requieren más datos de los que existen actualmente. De ahí que la elección del perfil pueda incidir de manera significativa en la traducción de PM<sub>2.5</sub> a *Black Carbon*. Teniendo esto en cuenta, cabe destacar la dificultad que ha supuesto la elección de los perfiles de especiación, lo que ha llevado a tener que adoptar las siguientes asunciones:

- ◆ Para algunos sectores se han encontrado varios perfiles de especiación adecuados. En estos casos se ha calculado un factor de especiación promedio a partir de los factores de dichos perfiles.
- ◆ En caso de existir varios perfiles para un mismo sector, se han seleccionado aquellos cuyo factor de especiación es válido para una rango entre 0-2,5  $\mu\text{m}$ . Si no hay factor disponible para este rango, se ha seleccionado el factor del rango más cercano (normalmente 0-10  $\mu\text{m}$ ).
- ◆ Para el sector de "Producción Metalúrgica" no se ha encontrado factor de especiación referente al *Black Carbon*, por lo que se ha supuesto que éste es 0% y que ésta fuente no lo emite.
- ◆ Para el sector "Emisiones Fugitivas" no se ha encontrado un perfil adecuado en la base de datos, por lo que se considera que no ha sido estudiado en la misma y no se ha incluido en el cálculo. Aún así, la proporción de esta fuente en las emisiones totales es solo de un 1,07%, por lo que su aportación se podría considerar despreciable.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

En la siguiente figura se muestra la distribución de las emisiones de *Black Carbon* en España en 2011, estimadas siguiendo la metodología explicada:

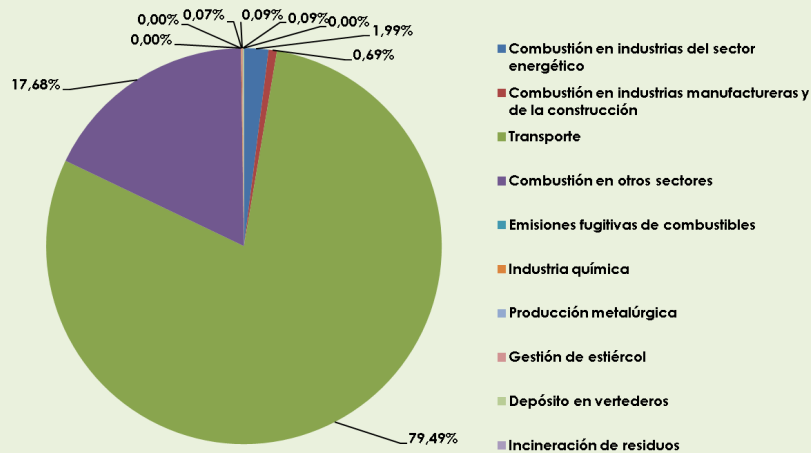


Figura 11: Distribución de las emisiones de *Black Carbon* estimadas para España en 2011.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de datos de la EEA y de la EPA (base de datos SPECIATE).

Tal como se puede observar, al igual que sucede con la PM<sub>2.5</sub>, la fuente mayoritaria de emisión de este contaminante es el transporte, seguida por la combustión en otros sectores (principalmente en el residencial).

Teniendo en cuenta que las emisiones de PM<sub>2.5</sub> se han reducido en un 23% de 2000 a 2011 en España (ver figura 9), se puede deducir que el *Black Carbon* ha seguido una tendencia similar, si bien no se dispone de datos para poder analizar la evolución de estas emisiones en los últimos años en el país. Aún así, quedaría una línea de investigación abierta para el cálculo de factores de especiación específicos para España y poder, de esta manera, desarrollar un inventario específico de emisiones de *Black Carbon* para España, más preciso y exhaustivo.

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

### 3.3. Posibles medidas de reducción: Respuesta

Como hemos visto anteriormente, las emisiones de *Black Carbon* son la segunda mayor contribución al cambio climático después del CO<sub>2</sub> y la reducción de las mismas podría ser una de las estrategias más rápidas para frenar el cambio climático.

Teniendo este hecho en cuenta y una vez evaluadas las fuentes de emisión y establecido el estado del medio ambiente en materia de *Black Carbon* mediante los inventarios de emisiones, el siguiente paso consiste en analizar qué acciones se están llevando a cabo hoy en día para hacer frente a esta problemática y qué medidas se pueden implementar para contribuir a la reducción de las emisiones de *Black Carbon*. En la siguiente tabla se pueden observar algunos ejemplos de la regulación existente en Estados Unidos, la Unión Europea y, en algunos casos, a nivel internacional, en torno a la materia particulada y, por ende, sobre el *Black Carbon*:

REGULACIÓN EXISTENTE
<b>Reglamento (UE) 136/2014</b> (Comisión Europea, 2014), referente a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y vehículos pesados (Euro VI).
<b>Directiva Europea 2012/33/EU</b> (Comisión Europea, 2012), que establece regulación relativa al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo.
<b>Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution</b> (CLRTAP, 2011), por el que se incorporan al Protocolo de Gotemburgo (UNECE, 2005) límites máximos de emisión de materia particulada para la Unión Europea, Noruega, Suiza y Estados Unidos.
<b>Directiva Europea 2008/50/CE</b> (Comisión Europea, 2008) sobre calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia, que establece, entre otros objetivos, valores límite para las emisiones de PM <sub>2.5</sub> en la Unión Europea.
<b>Anexo VI de la International Convention on the Prevention of Pollution from Ships</b> (conocida como MARPOL), que establece, entre otros, control y regulación de la materia particulada emitida por los barcos (IMO, 2008).
<b>Clean Air Fine Particle Implementation Rule</b> (EPA, 2007), que establece reglas sobre cómo implementar estándares nacionales de calidad del aire en materia de PM <sub>2.5</sub> en Estados Unidos.
<b>Clean Air Highway Diesel Rule, the Clean Air Nonroad Diesel Rule, the Clean Air Interstate Rule</b> (Bahner et al., 2007), que regulan las emisiones de vehículos diesel en Estados Unidos y establecen un objetivo de reducción del 70% de las mismas de 2001 a 2020.
<b>Directiva Europea 2001/80/CE</b> (Comisión Europea, 2001), que establece que los Estados miembros deberán alcanzar reducciones significativas de las emisiones de dióxido de azufre, de óxidos de nitrógeno y partículas, procedentes de las Grandes Instalaciones de Combustión existentes (anteriores al 1 de julio de 1987) a partir del 1 de enero de 2008 (Directiva GIC).

Tabla 3. Ejemplo de regulación existente en torno a la PM<sub>2.5</sub> y, por ende, al *Black Carbon*.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> a partir de diversas fuentes.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

Como se ha mencionado, estas normas son un primer paso en el abordaje de la problemática. En los próximos años será necesaria regulación más ambiciosa y, especialmente, iniciativas en los países en desarrollo para limitar estas emisiones.

A continuación se muestran una serie de medidas a implementar en los principales sectores emisores (transporte, industria, hogares y agricultura), a fin de promover una reducción de estas emisiones. Como se puede observar, la mayoría de estas medidas están basadas en el reemplazo o la reducción del uso de ciertos combustibles.

SECTOR	MEDIDAS
Vehículos (MECA, 2007; Reynolds et al., 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Cambio de combustibles en los vehículos. Sustitución de vehículos convencionales por eléctricos, híbridos o propulsados por otras tecnologías. También la utilización de gas natural vehicular.</li> <li>◆ Uso de filtros de partículas más eficientes. Estos pueden eliminar hasta el 90% de las emisiones de <i>Black Carbon</i>, aunque requieren un diesel con muy bajo contenido en azufre.</li> <li>◆ Endurecimiento de controles en vehículos, test de emisiones y endurecimiento de la regulación para vehículos con altas emisiones.</li> </ul>
Barcos con motor diesel (IMO, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Uso de combustible de bajo contenido en azufre para poder emplear filtros de partículas más eficientes.</li> <li>◆ Medidas de ahorro de combustible, motores más eficientes, limitación de la velocidad.</li> <li>◆ Regulación del uso de electricidad en puerto para los barcos y el ralentí en las terminales.</li> </ul>
Industria (PNUMA, 2011c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Aumento del uso de tecnologías limpias y eficientes, así como de combustibles menos intensivos en emisiones particuladas.</li> <li>◆ Reemplazo de hornos de ladrillo tradicionales por hornos de eje vertical y hornos Hoffman.</li> <li>◆ Sustitución de hornos de coque tradicionales por hornos de recuperación modernos.</li> <li>◆ En plantas de generación de energía, utilización de tecnologías de filtrado y combustión a alta temperatura, y regulación anual de las emisiones.</li> </ul>

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

SECTOR	MEDIDAS
Hogares (PNUMA, 2011c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Cambio de las tecnologías de quema de madera por estufas de <i>pellets</i> o calderas que utilicen combustible hecho con residuos de madera reciclados o de serrín.</li> <li>◆ Sustituir, en los países en desarrollo, las cocinas de biomasa tradicionales por otras "limpias" que usen combustibles modernos.</li> <li>◆ Limitación del uso de chimeneas y otras formas de quema de biomasa en zonas urbanas y no urbanas.</li> </ul>
Agricultura (Menon et al., 2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Prohibir la quema en campo abierto de residuos agrícolas.</li> <li>◆ Sustitución de la práctica del "slash and burn" por el "slash and char", para evitar generar la ceniza derivada de la quema de biomasa.</li> </ul>

Tabla 4. Medidas de reducción de las emisiones de *Black Carbon* por sector.

Fuente: elaborado por Factor CO<sub>2</sub> en base a diversas fuentes.

Muchas de las medidas identificadas podrían implementarse bajo las políticas existentes, pero la cooperación entre las regiones ayudaría a ampliar esta implementación. A nivel internacional, es necesario desarrollar y fortalecer las políticas e instrumentos de financiación para abordar los co-beneficios de la reducción de emisiones de estos contaminantes de vida corta. Entre las instituciones que trabajan en ello destacan algunas como el Banco Mundial y diversas organizaciones de Naciones Unidas, ente otras.

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### Regulación en España

En España no existe legislación directa referente a las emisiones de *Black Carbon*, pero sí que están en vigor las diversas directivas y planes de reducción de emisiones de partículas y de sus precursores gaseosos, propuestos por la Comisión Europea a todos los Estados miembros. Así, los distintos reales decretos y órdenes que constituyen la legislación española son transposiciones de las correspondientes directivas europeas. A continuación se muestran algunos ejemplos:

- ♦ La transposición de la Directiva Europea 2008/50/CE (Comisión Europea, 2008) a la legislación española es el **Real Decreto 102/2011** relativo a la mejora de la calidad del aire. En el anexo I de este decreto se establece el valor límite anual de emisión de PM<sub>2.5</sub> en 25 µg/m<sup>3</sup> de 2010 a 2015 y 20 µg/m<sup>3</sup> para 2020.
- ♦ La transposición de la Directiva Europea 2007/46/CE a la legislación española son la **Orden ITC 1620/2008**, relativa a la homologación de tipo de vehículos automóviles, remolques, semirremolques y moto, y el **Real Decreto 866/2010** relativo a la regulación de la tramitación de las reformas de vehículos.
- ♦ La transposición de la Directiva Europea 2001/80/CE (Comisión Europea, 2001) a la legislación española es el **Real Decreto 430/2014** relativo a la limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de Grandes Instalaciones de Combustión (Directiva GIC). Para ello España ha optado por la elaboración de un **Plan Nacional de Reducción de Emisiones para las Grandes Instalaciones de Combustión Existentes** (PNRE-GIC).

The image features a 3D rendering of several interlocking puzzle pieces in a light gray color, set against a white background. On the left side, there are five vertical dashed green lines. Small green circular dots are placed at the intersections of these lines with the puzzle pieces. A dashed green line extends from the bottom of these vertical lines towards the left side of a green rounded rectangular box at the bottom of the page.

## 4. Propuesta de hoja de ruta

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon** y sus efectos en el clima

### 4. Propuesta de hoja de ruta

Como hemos visto, el *Black Carbon* y el resto de sustancias PM<sub>2.5</sub> constituyen una de las principales causas del cambio climático. Por ello, resulta de interés general plantear una hoja de ruta destinada a sumar esfuerzos para lograr una reducción significativa de estos contaminantes. Desde Factor CO<sub>2</sub> consideramos que este camino debe abordarse desde tres ejes claves: el eje científico-técnico, el institucional y el privado.

#### 4.1. Eje científico-técnico

La comunidad científica desempeña un papel fundamental en el conocimiento y divulgación de los efectos negativos del *Black Carbon*. Y es que gracias a los estudios e investigaciones en torno a esta problemática, hoy sabemos la influencia que ejercen los contaminantes atmosféricos, como el *Black Carbon*, sobre el clima y la salud humana. No obstante, aún queda un largo camino por recorrer.

En relación con el rol del *Black Carbon* como inductor del cambio climático, es necesario profundizar en cuestiones como su interacción con otros fenómenos atmosféricos, así como en su potencial de forzamiento térmico en comparación con los gases de efecto invernadero. Desde un plano más operativo, será muy importante determinar los factores de emisión específicos para cada país y contribuir a la divulgación de estos estudios, con el objetivo de acercar y facilitar estos conocimientos a la ciudadanía.

En el caso de España, resultaría especialmente relevante el desarrollo de un inventario específico de emisiones de *Black Carbon*, para lo cual, además de actualizar anualmente los inventarios de PM<sub>2.5</sub> existentes, como el desarrollado por la EEA (EMEP, 2013), sería conveniente elaborar una base de datos de factores de especiación similar a la elaborada por la EPA en Estados Unidos (la base de datos SPECIATE) pero específica para España. Esta base de datos debería contener información referente a la cantidad de *Black Carbon* -entre otras sustancias- contenida en la PM<sub>2.5</sub> para cada una de las principales fuentes de emisión existentes en España.

#### 4.2. Eje institucional

Sin duda, para poder abordar de forma eficaz la problemática asociada con las emisiones de "carbono negro", es necesario un esfuerzo conjunto por parte de la comunidad internacional para aportar un marco normativo y esquemas de financiación adecuados.

Respecto a lo primero, el establecimiento de un marco normativo, es cierto que la realidad de partida de los distintos países es notablemente distinta. En este sentido, abordar el crecimiento de estas emisiones en países en desarrollo es prioritario. Sin embargo, disponer de un entorno

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

regulatorio internacional facilitaría enormemente este proceso.

En relación con la financiación, muchas de las soluciones que ofrecen beneficios más inmediatos tienen costes relativamente reducidos, pero no pueden ser soportados por los sectores más bajos de la población. Existen ya distintas iniciativas puestas en marcha, pero deben intensificarse para poder llegar a conseguir reducciones significativas. Disponer de unidades fiables que permitan comparar el impacto del *Black Carbon* en relación con los gases de efecto invernadero permitiría utilizar el potencial incipiente de los mercados de carbono en esta dirección.

En este camino contamos con un aliado clave para enfatizar la importancia de la acción: la salud humana. En efecto, reducir las emisiones contribuirá a mejorar notablemente la salud de la población más vulnerable y a reducir el número de muertes asociadas. Solo esto debería ser ya motivo más que suficiente para la acción.

En determinados casos, en cambio, deberemos abordar ciertos *trade-offs* o conflictos entre políticas ambientales. En este sentido, la utilización de biomasa o la sustitución de motores de gasolina por diesel han tenido efectos beneficiosos en emisiones de gases de efecto invernadero, pero pueden tener el efecto contrario en nuestro ámbito. No se trata, en cualquier caso, de dificultades insalvables, sino de poder disponer de una información completa para la toma de decisión.

### 4.3. Eje privado

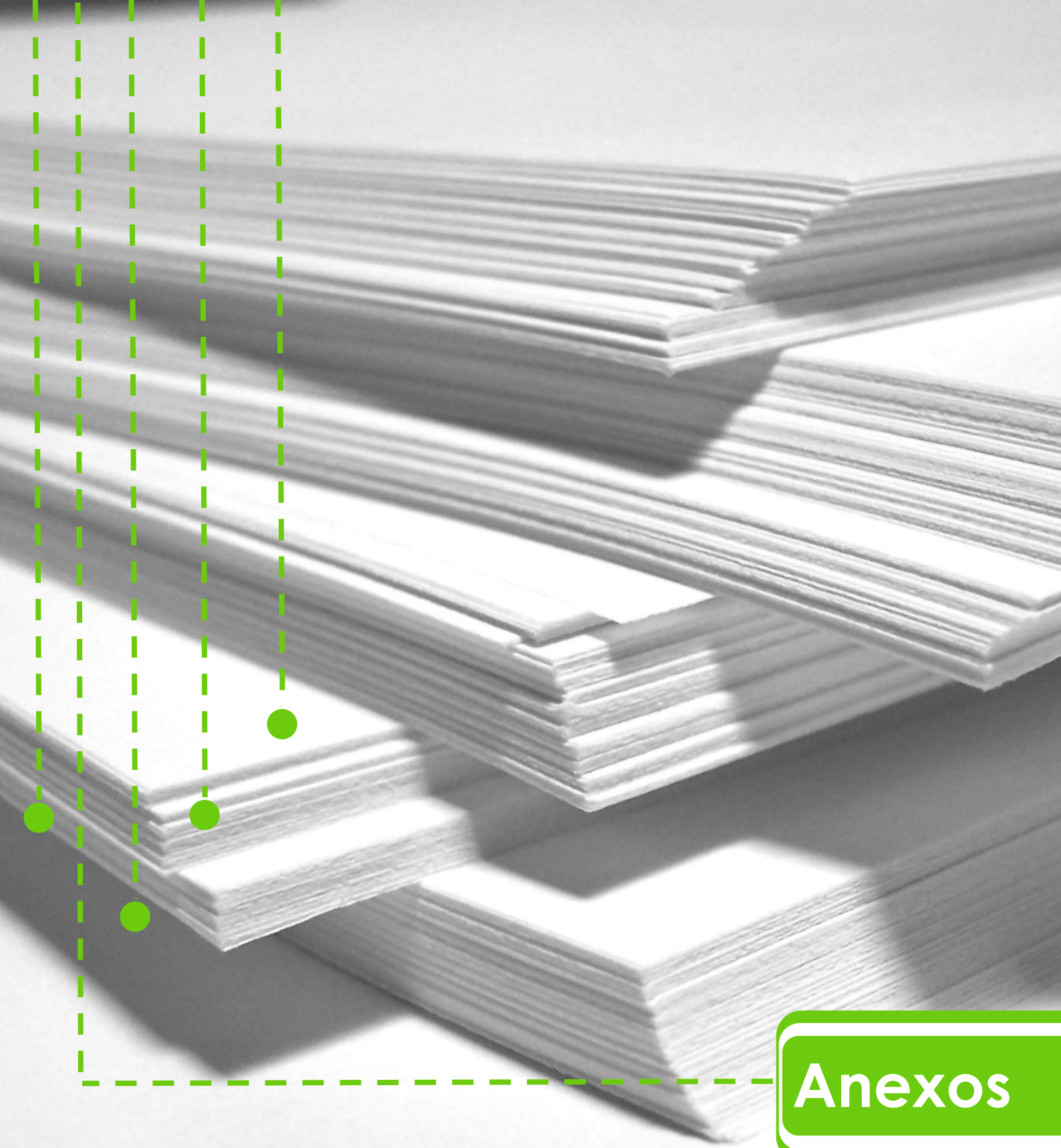
El sector privado también puede jugar un rol importante en este proceso para abordar el *Black Carbon* e ir de la mano junto con el resto de agentes contemplados. Así, el mundo empresarial podría participar de dicho proceso, estando al tanto de los avances en este terreno y, de acuerdo con los mismos, estableciendo sus propias estrategias y líneas de acción frente a los contaminantes atmosféricos.

Estos agentes también pueden contribuir a la divulgación de los conocimientos en torno al *Black Carbon* y a la concienciación por parte de la ciudadanía en relación con esta problemática, llevando a cabo acciones de sensibilización, integrando medidas de reducción de estas emisiones que sirvan de ejemplo para otras entidades o llevando a cabo asociaciones con otros actores involucrados para sumar esfuerzos en este recorrido.

Por tanto, todavía queda un largo camino por recorrer para afrontar la problemática del *Black Carbon*, si bien los primeros pasos ya han comenzado a darse de la mano de destacadas instituciones internacionales. En este sentido, habremos de permanecer atentos a los próximos cambios en este terreno, ya que indudablemente la regulación afectará a la gestión y operatividad de sectores clave, como el industrial o el transporte, que, junto con los organismos

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

públicos y el resto de la ciudadanía tendrán que adaptarse a las futuras normativas de ámbito nacional e internacional relativas al *Black Carbon*.



**Anexos**

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Niveles de PM2.5 en países europeos	19
<b>Figura 2.</b> Niveles de PM2.5 en ciudades españolas	20
<b>Figura 3.</b> Esquema Presión - Estado - Respuesta (PER)	22
<b>Figura 4.</b> Emisiones de <i>Black Carbon</i> en Asia, África y América Latina con respecto a las emisiones globales en el año 2000	23
<b>Figura 5.</b> Emisiones de <i>Black Carbon</i> a nivel mundial en el año 2000	24
<b>Figura 6.</b> Distribución de las emisiones de <i>Black Carbon</i> en función de la fuente de emisión	24
<b>Figura 7.</b> Distribución de las emisiones de <i>Black Carbon</i> en los países en desarrollo y en los países desarrollados	25
<b>Figura 8.</b> Metodología para la estimación de emisiones	26
<b>Figura 9.</b> Evolución de las emisiones de PM2.5 en España desde el año 2000 al 2011	32
<b>Figura 10.</b> Distribución por sector de la emisiones de PM2.5 en España en 2011	32
<b>Figura 11.</b> Distribución de las emisiones de <i>Black Carbon</i> estimadas para España en 2011	34

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Ejemplo de perfiles de especiación compuestos para PM2.5	29
<b>Tabla 2.</b> Inventarios específicos de <i>Black Carbon</i>	31
<b>Tabla 3.</b> Ejemplo de regulación existente en torno a la PM2.5 y, por ende, al <i>Black Carbon</i>	35
<b>Tabla 4.</b> Medidas de reducción de las emisiones de <i>Black Carbon</i> por sector	36

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

### Relación de acrónimos

<b>BOE</b>	Boletín Oficial del Estado
<b>CCVC</b>	Contaminantes Climáticos de Vida Corta
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CLRTAP</b>	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>EEA</b>	European Environment Agency
<b>EPA</b>	Environment Protection Agency
<b>GEI</b>	Gas de Efecto Invernadero
<b>GIC</b>	Grandes Instalaciones de Combustión
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarbono
<b>IGSD</b>	Institute for Governance & Sustainable Development
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IMO</b>	International Maritime Organization
<b>MECA</b>	Manufacturers of Emission Controls Association
<b>NEI</b>	National Emissions Inventory
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PER</b>	Presión- Estado- Respuesta
<b>PM</b>	Particulate Matter
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>PNUMA</b>	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>UNECE</b>	United Nations Economic Commission for Europe

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon y sus efectos en el clima*

### Bibliografía

- ◆ AP-42 (1972). EPA's Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html#toc> (fecha de último acceso: 29/05/2014).
- ◆ Bahner, M. A., Weitz, K. A., Zapata, A., De Angelo, B. (2007). Use of Black Carbon and Organic Carbon Inventories for Projections and Mitigation Analysis. U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Disponible en: <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei16/session3/k.weitz.pdf> (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ Bond, T., Streets, D., Yarber K., Nelson, S., Woo J., and Klimont, Z. (2004). A technology based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. Journal of Geophysical Research, 109.
- ◆ Bond, T. (2007). Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change. House Committee on Oversight and Government Reform. United States House of Representatives. Disponible en: <http://oversight-archive.waxman.house.gov/documents/20071018110647.pdf> (fecha de último acceso: 04/06/2014).
- ◆ Bond, T., Bhardwaj, E., Dong, R., Jogani, R., Jung, S., Roden, C., Streets, D. G., Fernandes, S. and Trautmann, N. (2007). Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion. Global Biogeochemical Cycles, vol. 21, 1850–2000. Disponible en: <http://www.cee.mtu.edu/~nurban/classes/ce5508/2008/Readings/Bond07.pdf> (fecha de último acceso 28/05/2014).
- ◆ CLRTAP (2011). Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Disponible en: <http://www.unece.org/env/lrtap> (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ Comisión Europea (2013). Comunicado de prensa. Medio ambiente: nuevas medidas para limpiar el aire de Europa. Disponible en: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-13-1274\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-1274_es.htm) (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ Comisión Europea (2001). Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de Grandes Instalaciones de Combustión (GIC). Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2001L0080:20070101:ES:PDF> (fecha de último acceso: 05/06/2014).
- ◆ Comisión Europea (2008). Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Disponible <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=EN> (fecha de último acceso: 05/06/2014).

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

- ◆ Comisión Europea (2012). Directiva 2012/33/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de noviembre de 2012, por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:327:0001:0013:EN:PDF> (fecha de último acceso: 05/06/2014).
- ◆ Comisión Europea (2014). Reglamento 136/2014 de la Comisión, del 11 de febrero de 2014, por el que se modifican la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, el Reglamento (CE) 692/2008 de la Comisión en lo que respecta a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y el Reglamento (UE) 582/2011 de la Comisión en lo que respecta a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI). Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0136&qid=1401964150075&from=ES> (fecha de último acceso: 05/06/2014).
- ◆ EMEP (2013). Inventario de emisiones de España años 1990-2011. Comunicación a la Secretaría del Convenio de Ginebra y al Programa EMEP. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (fecha de último acceso: 06/06/2013).
- ◆ EEA (2013). Air pollution fact sheet - Spain. European Environment Agency. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets> (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ EPA (2007). Clean Air Fine Particle Implementation Rule. Environment Protection Agency. Disponible en: <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2007/April/Day-25/a6347.pdf> (fecha de último acceso: 04/06/2014).
- ◆ EPA (2012). Report to Congress on Black Carbon. Department of the Interior, Environment, and Related Agencies Appropriations Act, 2010. Disponible en <http://www.epa.gov/blackcarbon/2012report/fullreport.pdf> (fecha de último acceso: 11/06/14).
- ◆ Factor CO<sub>2</sub> (2013). Blue Carbon, propuestas para preservar el carbono azul, 2013. Factor CO<sub>2</sub>.
- ◆ IGSD (2008). Reducing Black Carbon May Be Fastest Strategy for Slowing Climate Change. Institute for Governance & Sustainable Development (IGSD). Disponible en <http://www.igsd.org/docs/BC%20Summary%206July08.pdf> (fecha de último acceso: 29/05/14).

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon y sus efectos en el clima*

- ◆ IMO (2008). IMO Environment meeting Approves Revised Regulations on Ship Emissions. International Maritime Organization. Disponible en: [http://www.imo.org/blast/mainframe.asp?topic\\_id=1709&doc\\_id=9123](http://www.imo.org/blast/mainframe.asp?topic_id=1709&doc_id=9123) (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ Lack, D., B. Lerner, C. Granier, T. Baynard, E. Lovejoy, P. Massoli, A. R. Ravishankara, and E. Williams, Light absorbing carbon emissions from commercial shipping, 35 Geophysical Res. Letters L13815 (2008).
- ◆ Lamarque, J. F., Bond, T., Eyring, V., Granier, C., Heil, A., Klimont, Z., Lee, D., Liou, S. C., Mieville, A., Owen, B., Schultz, M. G., Shindell, D., Smith, S. J., Stehfest, E., Van Aardenne, J., Cooper O. R., Kainuma, M., Mahowald, N., McConnell, J. R., Naik, V., Riahi, K. and Van Vuuren, D. P. (2010). Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application. Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 7017-7039. Disponible en: <http://www.atmos-chem-phys.net/10/7017/2010/acp-10-7017-2010.html> (fecha de último acceso 28/05/2014).
- ◆ MECA (2007). "Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles," Manufacturers of Emission Controls Association (MECA). Disponible en: <http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20White%20Paper%2012-07-07%20final.pdf> (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ Menon, S., Hansen, J., Nazarenko, L. and Luo Y. (2002). Climate Effects of Black Carbon in China and India. Science, 297, 2250-2253.
- ◆ MOVES (2010). EPA's model for on-road engines, equipment, and vehicles. Disponible en: <http://www.epa.gov/otaq/models/moves> (fecha de último acceso: 29/05/2014).
- ◆ NARSTO (2005). A NARSTO assessment: improving emission inventories for effective air quality management across North America. NARSTO Emission Inventory Assessment Team. Disponible en: <http://www.narsto.org/section.src?SID=8> (fecha de último acceso: 29/05/2014).
- ◆ NEI (2011). EPA's National Emissions Inventory. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/net/2011inventory.html> (fecha de último acceso: 28/05/2014).
- ◆ NONROAD (2008). EPA's model for nonroad engines, equipment, and vehicles. Disponible en: <http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm> (fecha de último acceso: 29/05/2014).
- ◆ OCDE (1993). Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. OECD Environment Monographs 83. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Refer/gd93179.pdf> (fecha de último acceso: 28/05/2014).

## Series CO<sub>2</sub>: **Black Carbon y sus efectos en el clima**

- ◆ OMS (2011). Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y salud. Public Health and Environment - World Health Organization (WHO). Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> (fecha de último acceso: 28/05/14).
- ◆ OMS (2014). Organización Mundial de la Salud. Ambient (Outdoor) Air Pollution in cities database 2014. Disponible en [www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/cities/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/) (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ OMS (2014). Organización Mundial de la Salud. Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012. Public Health and Environment - World Health Organization (WHO), May 2014. Disponible en [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/FINAL\\_HAP\\_AAP\\_BoD\\_24March2014.pdf?ua=1](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1) (fecha de último acceso: 28/05/14).
- ◆ PNUMA (2011a). Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme (UNEP). Disponible en [http://www.unep.org/pdf/Near\\_Term\\_Climate\\_Protection\\_&\\_Air\\_Benefits.pdf](http://www.unep.org/pdf/Near_Term_Climate_Protection_&_Air_Benefits.pdf) (fecha de último acceso: 28/05/14).
- ◆ PNUMA (2011b). *HFCs: A Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer*. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP). Disponible en [http://www.unep.org/dewa/portals/67/pdf/HFC\\_report.pdf](http://www.unep.org/dewa/portals/67/pdf/HFC_report.pdf) (fecha de último acceso: 28/05/14).
- ◆ PNUMA (2011c). Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. Summary for Decision Makers. United Nations Environment Programme (UNEP) and World Meteorological Organization (WMO). Disponible en: [http://www.unep.org/publications/contents/pub\\_details\\_search.asp?ID=6201](http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=6201) (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ Ramanathan, V. and Carmichael, G. (2008). Global and Regional Climate Changes due to Black Carbon. *Nature Geoscience*, 1.
- ◆ Reff A., Bhave P.V., Simon H., Pace T.G., Pouliot G.A., Mobley J.D. and Houyoux M. (2009). Emissions inventory of PM<sub>2.5</sub> trace elements across the United States. *Environmental Science & Technology*, 43, 5790-5796.
- ◆ Reynolds, C. O., and Kandlikar, M. (2008). Climate Impacts of Air Quality Policy: Switching to a Natural Gas-Fueled Public Transportation System in New Delhi. *Environment Scientific Technology*, 1. Disponible en: [http://indiaenvironmentportal.org.in/files/air%20quality%20policy\\_0.pdf](http://indiaenvironmentportal.org.in/files/air%20quality%20policy_0.pdf) (fecha de último acceso: 02/06/2014).
- ◆ SPECIATE (2014). EPA's repository of volatile organic gas and particulate matter speciation profiles of air pollution sources. Disponible en: [http://cfpub.epa.gov/si/speciate/ehpa\\_speciate\\_browse.cfm](http://cfpub.epa.gov/si/speciate/ehpa_speciate_browse.cfm) (fecha de último acceso 29/05/2014).

## Series CO<sub>2</sub>: *Black Carbon* y sus efectos en el clima

- ◆ UNECE (2005). The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Amended 2005. United Nations Economic Commission for Europe. Disponible en: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1999%20Multi.E.Amended.2005.pdf> (fecha de último acceso: 06/04/2014).
- ◆ WebFIRE (2010). EPA's FIRE 6.25 Data System Information. Disponible en: <http://cfpub.epa.gov/webfire/> (fecha de último acceso: 29/05/2014).



factorCO<sub>2</sub>  
10years

MADRID BILBAO BARCELONA MILÁN OXFORD HANÓVER BANGKOK MÉXICO DF

[www.factorco2.com](http://www.factorco2.com)

T. (+34) 902 105 560