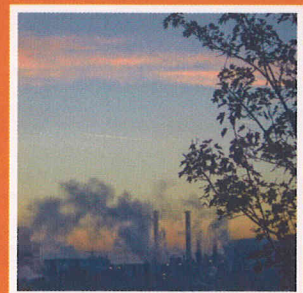


La calidad del aire en Europa — Informe 2012



La calidad del aire en Europa — Informe 2012

Aviso legal

El contenido de la presente publicación no refleja necesariamente la opinión oficial de la Comisión Europea ni de otras instituciones de la Unión Europea. Ni la Agencia Europea de Medio Ambiente ni ninguna persona o empresa que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en este informe.

Aviso de propiedad intelectual

© AEMA, Copenhague, 2012

Reproducción autorizada con indicación de la fuente bibliográfica, salvo que se especifique lo contrario. Existe gran cantidad de información sobre la Unión Europea en Internet, a la que se puede acceder a través del servidor de Europea (www.europa.eu)

Revisión científica de la edición en español:

Este trabajo ha sido realizado por TAU Consultora Ambiental por encargo de la Dirección General

de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).

Supervisión, coordinación y control (MAGRAMA):

Elisa Rivera Mendoza

Coordinación (TAU Consultora Ambiental):

Laura Romero Vaquero

Título original en Inglés:

Air quality in Europe – 2012 report

Equipo de revisión:

Manuel Álvarez-Arenas Bayo, TAU Consultora Ambiental

Rodrigo Jiliberto Herrera, TAU Consultora Ambiental

Laura Romero Vaquero



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta

Paseo de la Infanta Isabel, 1
Teléfono: 91 347 55 51 - 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Diseño de portada: AEMA

Fotografía de cubierta: © flickr/glamismac

Fotografía izquierda: © flickr/Problemkind

Fotografía derecha: © flickr/Tim Fields

Maquetación: AEMA/Henriette Nilsson

Impresión y Encuadernación:

Solana e Hijos Artes Gráficas, S.A.U.

NIPO (edición papel): 280-13-184-9

NIPO (edición Cd): 280-13-185-4

NIPO (edición línea): 280-13-244-X

ISBN (edición papel): 978-84-491-1341-3

ISBN (edición Cd): 978-84-491-1344-4

Depósito Legal (edición papel): M-35574-2013

Depósito Legal (edición Cd): M-35575-2013

Catálogo General de publicaciones oficiales de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Datos técnicos: Formato 21 x 29,7 cm. Caja de texto: 17,5 x 25 cm. Composición: dos columnas. Tipografía: Palatino Linotype, Verdana a cuerpos 7, 9, 8,5, 10 y 20. Encuadernación: rústica. Papel: Interior en couché reciclado 100% de 115 grs. Cubierta en cartulina gráfica de 300 grs. Tintas: 4/4. Impreso en papel reciclado al 100% totalmente libre de cloro.



Impreso sobre papel 100% reciclado

Índice

Agradecimientos	5
Resumen ejecutivo	6
1 Introducción	15
1.1 Objetivos y cobertura del informe	15
1.2 Instrumentos de política y legislación de interés.....	17
1.3 Calidad del aire y cambio climático	18
2 Partículas (PM).....	23
2.1 Fuentes y efectos de las PM.....	23
2.2 Normas europeas de calidad del aire para PM	24
2.3 Encuesta europea sobre PM.....	26
2.4 Exposición a la contaminación por PM en Europa	37
2.5 Respuestas	37
3 Ozono (O₃).....	40
3.1 Fuentes y efectos del O ₃	40
3.2 Normas europeas de calidad del aire para O ₃	41
3.3 Encuesta europea sobre O ₃	42
3.4 Exposición a la contaminación por O ₃ en Europa.....	48
3.5 Respuestas	51
4 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	53
4.1 Fuentes y efectos del NO ₂	53
4.2 Normas europeas de calidad del aire para NO ₂ y NO _x	53
4.3 Encuesta europea sobre NO ₂ y NO _x	54
4.4 Exposición a la contaminación por NO ₂ en Europa.....	61
4.5 Respuestas	62
5 Dióxido de azufre (SO₂)	63
5.1 Fuentes y efectos del SO ₂	63
5.2 Normas europeas de calidad del aire para SO ₂	63
5.3 Encuesta europea sobre SO ₂	64
5.4 Exposición a la contaminación por SO ₂ en Europa.....	67
5.5 Respuestas	68

6 Monóxido de carbono (CO)	69
6.1 Fuentes y efectos del CO	69
6.2 Normas europeas de calidad del aire para CO	69
6.3 Encuesta europea sobre CO	69
6.4 Exposición a la contaminación por CO en Europa	74
6.5 Respuestas	74
7 Metales pesados	75
7.1 Fuentes y efectos de los metales pesados	75
7.2 Normas europeas de calidad del aire para los metales pesados	77
7.3 Encuesta europea sobre metales pesados.....	77
7.4 Tendencias en las concentraciones y emisiones de metales pesados.....	78
7.5 Exposición a la contaminación por metales pesados en Europa.....	82
7.6 Respuestas	82
8 Benceno (C₆H₆) y benzo(a)pireno (BaP)	83
8.1 Fuentes y efectos.....	83
8.2 Normas europeas de calidad del aire para C ₆ H ₆ y BaP.....	83
8.3 Encuesta europea sobre C ₆ H ₆ y concentración media anual de BaP	84
8.4 Exposición a la contaminación por C ₆ H ₆ y BaP en Europa	89
8.5 Respuestas	89
Referencias	90
Anexo 1 AirBase	94
Anexo 2 Políticas y medidas europeas sobre emisiones de contaminantes atmosféricos	100

Agradecimientos

Este informe fue preparado por el Centro Temático del Aire y Mitigación del Cambio Climático (CTE/ACM) de la Agencia Europea de Medio Ambiente. La coordinadora de las aportaciones de la CTE/ACM fue Cristina Guerreiro, del Instituto Noruego de Investigación del Aire (NILU).

Los autores del informe fueron Cristina Guerreiro (NILU, Noruega), Frank de Leeuw (RIVM, Países Bajos) y Valentin Foltescu, Johannes Schilling, John van Aardenne, Anke Lükewille y Martin Adams (AEMA). El revisor del CTE/ACM fue Xavier Querol (CSIC, España). Los revisores de la AEMA fueron Afrodita Mourelatou y Paul McAleavey.

Agradecer a Jean-Paul Hettelingh, Centro de Coordinación de Efectos (CCE en el RIVM, Países Bajos), el suministro a la AEMA de los datos de referencia para la información de la carga crítica que se presenta en este informe, y al Programa Europeo Concertado de Vigilancia y Evaluación (EMEP).

El director del proyecto de la AEMA fue Valentin Foltescu. La AEMA agradece los comentarios recibidos sobre el proyecto de informe de los centros nacionales de referencia de los países miembros de la AEMA y de la Comisión Europea. Estos comentarios se han incluido en la versión final del informe en la medida de lo posible.

Resumen ejecutivo

"La contaminación atmosférica es mala para nuestra salud. Reduce la esperanza de vida humana una media de ocho meses y más de dos años en las ciudades y regiones más contaminadas. Los Estados miembros deben cumplir las normas comunitarias de calidad del aire rápidamente y reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos", Janez Potocnik, Comisario Europeo de Medio Ambiente (UE, 2010a).

Las emisiones de contaminantes atmosféricos provienen de casi todas las actividades económicas y sociales. En Europa, las emisiones de muchos contaminantes atmosféricos se han reducido. Se ha hecho mucho en la lucha contra los contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO) y el benceno (C₆H₆), mientras que otros contaminantes aún representan una grave amenaza para la salud de los europeos y su medio ambiente.

De hecho las concentraciones de contaminantes atmosféricos siguen siendo demasiado altas y perjudican nuestra salud y los ecosistemas de los que dependemos. Una proporción significativa de la población europea vive en zonas, especialmente las ciudades, donde se superan las normas de calidad del aire. La contaminación por partículas en suspensión (PM) y ozono (O₃) está particularmente asociada a riesgos graves para la salud.

Los contaminantes atmosféricos emitidos en un país europeo pueden contribuir a, o resultar en, una mala calidad del aire en otros lugares. Por otra parte, importantes contribuciones del transporte intercontinental influyen en las concentraciones de O₃ y PM en Europa.

Se requiere, más que nunca, una mayor cooperación internacional, centrándose también en los vínculos entre el cambio climático y las políticas de contaminación para hacer frente a la contaminación atmosférica. La reducción de la contaminación atmosférica y la mejora de la calidad del aire siguen siendo una prioridad clave.

Propósito y ámbito de este informe

Este informe presenta una visión general y un análisis de la situación y tendencias de la calidad del aire en Europa basado en mediciones de concentración en el aire ambiente y en datos sobre las emisiones antropogénicas y las tendencias a partir de 2001 - cuando el control obligatorio de las concentraciones ambientales de algunos contaminantes del aire produjo por primera vez información fiable sobre la calidad del aire - hasta 2010.

Este informe se ha publicado anualmente desde 2011 y actualiza regularmente la información proporcionada en el informe quinquenal "El medio ambiente europeo - Estado y perspectivas" (SOER) de la Agencia Europea de Medio Ambiente. El análisis abarca hasta 38 países europeos ⁽¹⁾, incluidos los Estados miembros de la UE y los países miembros de la AEMA-32.

De acuerdo con la Directiva 2008/50/CE relativa a la Calidad del Aire Ambiente y Aire más Limpio para Europa, la Comisión revisará en 2013 las disposiciones relativas a ciertos contaminantes. Este informe tiene como objetivo informar a esta tarea y la revisión de la Estrategia Temática de la Comisión Europea sobre contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica en Europa es un problema local, regional y transfronterizo causado por la emisión de contaminantes específicos que, ya sea directamente o por medio de reacciones químicas, conducen a impactos negativos. Cada contaminante produce una serie de efectos de leves a severos según aumente su concentración o exposición. Los principales efectos de la contaminación atmosférica son (véase también la Tabla 1.1):

- Daños a la salud humana causados por la exposición a contaminantes atmosféricos o la inhalación de contaminantes transportados por el aire, depositados y acumulados en la cadena alimentaria;

⁽¹⁾ Los países de la AEMA-38 son los Estados miembros de la AEMA-32 (los Estados miembros de la UE: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, el Reino Unido, la República Checa, Rumania y Suecia) y los cinco países restantes de la AEMA, Islandia, Liechtenstein, Noruega, Suiza y Turquía), así como los seis países cooperantes de la AEMA (Albania, Bosnia y Herzegovina, Croacia, la ex República Yugoslava de Macedonia, Montenegro y Serbia).

- La acidificación de los ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos, que lleva a la pérdida de flora y fauna;
- La eutrofización en los ecosistemas terrestres y acuáticos, lo que puede conducir a cambios en la diversidad de especies;
- Daños y pérdidas de cosechas que afectan a los cultivos agrícolas, los bosques y otras plantas debido a la exposición a O₃ troposférico;
- Impactos de metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes en los ecosistemas, debidos a su toxicidad ambiental y a la bioacumulación;
- Contribución al forzamiento climático;
- Reducción de la visibilidad atmosférica;
- Daños a los materiales y al patrimonio cultural debido a la suciedad y la exposición a contaminantes acidificantes y O₃.

La legislación vigente de calidad del aire de forma sencilla

La Directiva 2008/50/CE sobre Calidad del Aire, que sustituyó a casi toda la legislación anterior de la UE sobre calidad del aire - complementada por la Directiva 2004/107/CE - fija límites jurídicamente vinculantes para las concentraciones a nivel del suelo de los contaminantes del aire exterior como PM y el dióxido de nitrógeno (NO₂).

Los elementos clave de la legislación comunitaria de calidad del aire son:

- Los valores límite de la UE son los umbrales de concentración legalmente vinculantes que no se deben sobrepasar. Los valores límite se fijan para contaminantes individuales y se componen de un valor de concentración. Los valores límite se acompañan de un período promedio, el número de casos de superación permitidos por año, en su caso, así como la fecha de cumplimiento de la obligación. Algunos contaminantes tienen más de un valor límite que cubre diferentes períodos de tiempos o variables. Los valores límite son jurídicamente vinculantes para los Estados miembros de la UE.
- Los valores objetivo de la UE – han de alcanzarse en lo posible, tomando todas las medidas necesarias

que no generen costes desproporcionados. Los valores objetivo no son jurídicamente vinculantes.

En este informe también se refiere a las directrices sobre calidad del aire (AQG, *Air Quality Guidelines*) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que suelen ser más estrictas que los objetivos y valores límite actuales de la UE.

Los contaminantes más problemáticos

En la actualidad, las PM y el O₃ son los contaminantes más problemáticos de Europa en términos de daños a la salud humana. Las emisiones nacionales son los contribuyentes más importantes a los niveles de concentración de O₃ y PM en Europa, pero el transporte intercontinental de la contaminación también contribuye a los crecientes impactos sobre la salud, los ecosistemas y nuestra economía (en particular, la productividad de los cultivos). Se necesitan más estudios para atribuir la superación europea de la calidad del aire a las emisiones de contaminantes del aire no europeos.

Impactos sobre la población

La Tabla ES.1 ofrece una visión general ⁽²⁾ de la proporción de la población urbana de la UE expuesta a niveles de concentración de contaminantes por encima de los valores límite y objetivo establecidos en la legislación de la UE y en las directrices de calidad del aire AQG de la OMS en los últimos años (2008-2010).

Los niveles actuales de contaminación, sobre todo de PM y O₃ tienen un claro impacto sobre un gran número de la población urbana. Esto es particularmente evidente en las estimaciones de exposición de la población basadas en las AQG de la OMS.

Impactos en los ecosistemas europeos

Los efectos más importantes de la contaminación atmosférica en los ecosistemas europeos son la eutrofización, la acidificación y los daños a la vegetación como resultado de la exposición al O₃. Dado que las emisiones de SO₂ han disminuido, el amoníaco (NH₃) emitido por las actividades agrícolas y los óxidos de nitrógeno (NO_x) emitidos por los procesos de combustión, se han convertido en los principales contaminantes atmosféricos acidificantes y eutrofizantes.

⁽²⁾ Esta estimación se refiere a un reciente período de tres años (2008-2010) e incluye variaciones debidas a la meteorología, ya que las condiciones atmosféricas y de dispersión difieren de un año a otro.

Tabla ES.1 Porcentaje de población urbana de la UE expuesta a concentraciones de contaminantes atmosféricos por encima de los niveles de referencia de la UE y la OMS (2008-2010)

Contaminante	Valor de referencia de la UE	Exposición estimada (%)	Nivel de referencia de la OMS	Exposición estimada (%)
PM _{2,5}	Año (20)	16–30	Año (10)	90–95
PM ₁₀	Día (50)	18–21	Año (20)	80–81
O ₃	8-horas (120)	15–17	8-horas (100)	> 97
NO ₂	Año (40)	6–12	Año (40)	6–12
BaP	Año (1 ng/m ³)	20–29	Año (0,12 ng/m ³)	93–94
SO ₂	Día (125)	< 1	Día (20)	58–61
CO	8-horas (10 mg/m ³)	0–2	8-horas (10 mg/m ³)	0–2
Pb	Año (0.5)	< 1	Año (0,5)	< 1
C ₆ H ₆	Año (5)	< 1	Año (1,7)	7–8

Código de colores de la fracción de la exposición estimada de la población urbana expuesta a concentraciones superiores a los niveles de referencia:

< 10 %	10–50 %	50–90 %	> 90 %
--------	---------	---------	--------

Nota: Los contaminantes se clasifican en función de su riesgo relativo para los daños a la salud - el más alto en la parte superior. Esta estimación se refiere a un período reciente de tres años (2008-2010) e incluye variaciones debidas a la meteorología, ya que las condiciones atmosféricas y de dispersión difieren de un año a otro.

Los niveles de referencia incluían los niveles límite u objetivo de la UE y las directrices de calidad del aire (AQG) de la OMS. Los niveles de referencia entre paréntesis están en µg/m³ excepto para CO que están en mg/m³ y BaP en ng/m³.

Para algunos contaminantes la legislación de la UE permite un número limitado de casos de superación. Este aspecto se considera en la recopilación de la exposición en relación a los valores límite y objetivo de calidad de aire de la UE.

La comparación se hace con los valores límite u objetivo más estrictos de la UE establecidos para la protección de la salud humana. Para las PM₁₀ el estándar más estricto es para la concentración media en 24 horas.

Para las PM₁₀ el estándar de la UE más estricto es el valor límite indicativo anual de 2020 (20 µg/m³).

Como la OMS no ha fijado AQG para el BaP (benzo(a)pireni) y el C₆H₆ (benceno), el nivel de referencia de la OMS en la tabla se estimó suponiendo un riesgo adicional de por vida de 1 x 10⁻⁵.

Fuente: AEMA, 2012d (CSI 004); AirBase v.6.

Impactos sobre el clima

Algunos contaminantes del aire son también forzadores del clima, teniendo un impacto potencial sobre el clima del planeta y el calentamiento global en el corto plazo (décadas).

El ozono a nivel del suelo (troposférico) y el carbono negro, un componente de las PM, contribuyen al calentamiento global. Las medidas para reducir el carbono negro y otros contaminantes, entre ellos el metano (siendo el propio CH₄ un gas de efecto invernadero (GEI)), que dan lugar a la formación de O₃ tendrán un doble beneficio, reduciendo tanto el daño para la salud y a los ecosistemas y el alcance del calentamiento global. La calidad del aire y el cambio climático pueden abordarse conjuntamente mediante la definición de políticas y medidas desarrolladas a través de un enfoque integrado.

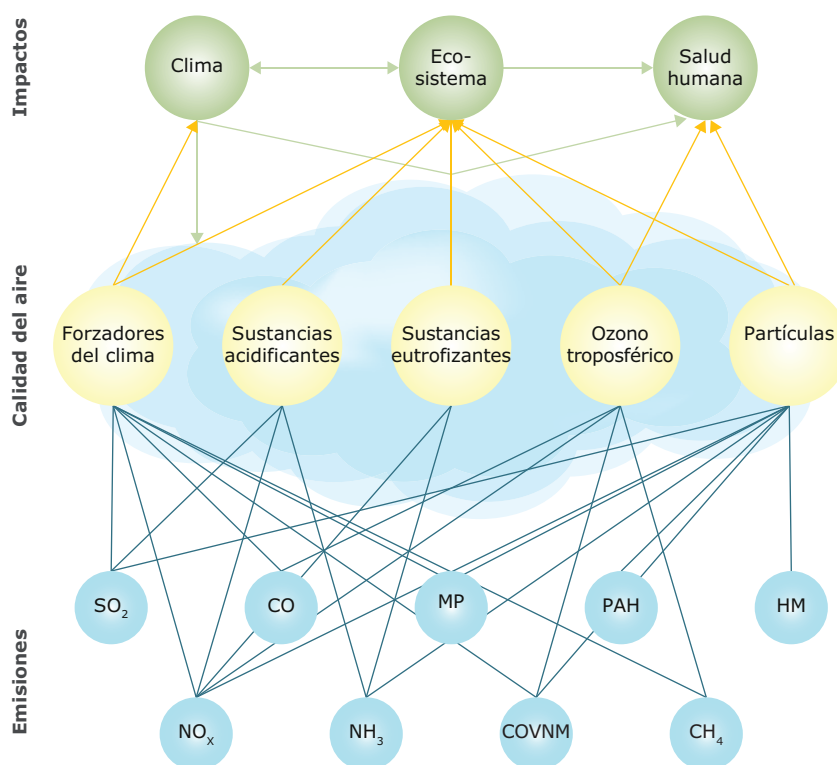
La Figura ES.1 muestra los principales contaminantes atmosféricos en Europa y su impacto potencial sobre la salud humana, los ecosistemas y el clima.

Mensajes clave

Las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos en Europa disminuyó en el período 2001-2010, dando como resultados, para algunos de los contaminantes, mejora de la calidad del aire en la región. A pesar de estos resultados, muchos países europeos aún no cumplen con uno o más límites de emisión fijados en los acuerdos de la UE y Naciones Unidas (ONU). Por ejemplo, los datos notificados de emisiones de NO_x muestran emisiones superiores a los respectivos límites máximos de 12 países de la UE (AEMA, 2012a).

Además, debido a la compleja relación entre las emisiones y calidad del aire (explicada más adelante en este informe), las reducciones de emisiones no siempre producen la correspondiente disminución de las concentraciones atmosféricas, especialmente para las PM y O₃. Por ejemplo, mientras que las reducciones de las sustancias que forman O₃ (gases precursores de O₃) han sido sustanciales en Europa, las concentraciones de O₃ en Europa se han mantenido estables.

Figura ES.1 Principales contaminantes atmosféricos en Europa, agrupados según sus impactos sobre la salud humana, los ecosistemas y el clima



Nota: De izquierda a derecha los contaminantes que aparecen son los siguientes: dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH₃), partículas (PM), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), metano (CH₄), metales pesados (MP).

Como resultado de ello, la mejora de la comprensión de la contaminación atmosférica y el desarrollo y aplicación de políticas efectivas para reducirla, sigue siendo un reto y una prioridad.

Mensajes clave por contaminante

Partículas

En términos de su daño potencial sobre la salud humana, las PM son uno de los contaminantes más importantes ya que penetran en las regiones sensibles del sistema respiratorio y pueden causar problemas de salud y mortalidad prematura. Las PM en el aire proceden de muchas fuentes y son una compleja mezcla heterogénea cuyo tamaño y composición química varía en el tiempo y en el espacio, en función de las fuentes de emisión y las condiciones atmosféricas y climáticas.

Las PM en la atmósfera se originan a partir de:

- Partículas primarias emitidas directamente;

- Partículas secundarias que se producen como resultado de reacciones químicas que involucran los llamados gases precursores de PM: SO₂, NO_x, NH₃ y compuestos orgánicos volátiles (COV).

Las PM se miden en micras. Las partículas más grandes tienen 10 micras de diámetro o menos (PM₁₀). El grupo de partículas que más preocupan tienen 2,5 micras de diámetro o menos (PM_{2,5}). Algunas de éstas son lo suficientemente pequeñas para pasar desde el pulmón al flujo sanguíneo como las moléculas de oxígeno. En comparación, el diámetro de un cabello humano es de 50-70 micras (Figura 2.1).

Emisiones de PM primarias

Las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} primarias disminuyeron un 14% y 15%, respectivamente, en la UE y en los países de la AEMA-32 entre 2001 y 2010.

Emisiones de gases precursores de PM

Las emisiones de precursores de PM, excepto las de NH_3 , disminuyeron considerablemente entre 2001 y 2010.

En la Unión Europea:

- Los óxidos de azufre (SO_x) se redujeron un 54%;
- Las emisiones de NO_x se redujeron un 26%;
- Las emisiones de NH_3 se redujeron un 10%.

En los países de la AEMA-32:

- Las emisiones de SO_x se redujeron un 44%;
- Las emisiones de NO_x se redujeron un 23%;
- Las emisiones de NH_3 se redujeron un 8% (2001-2009).

A pesar de estas reducciones de emisiones, 18-41%⁽³⁾ de la población urbana de la UE estaba expuesta a concentraciones de PM_{10} por encima del valor límite diario de calidad del aire de la UE en el período 2001-2010 y no hubo una tendencia clara a la baja en este indicador en particular (Figura ES.2). Entre el 23% y el 41% (3) de la población urbana de los países de la AEMA-32 estaba expuesto en el mismo período.

El límite de la UE y de los valores objetivo para las PM se superaron ampliamente en Europa en 2010. Las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para las concentraciones medias anuales de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ - que son más estrictas que el límite y los valores objetivo establecidos en la legislación de la UE - se superaron en la mayoría de las estaciones de seguimiento en todo el continente europeo.

Principales observaciones relativas a PM

- Las pequeñas reducciones observadas en las concentraciones de PM ambiente durante el período 2001-2010 reflejan la lenta disminución de las emisiones de PM primarias y NH_3 .
- Veintiún por ciento de la población urbana de la UE vive en zonas donde el valor límite de 24 horas de calidad del aire de la UE para las partículas (PM_{10}) se superó en 2010 (Figura ES.2). Para los países de la AEMA-32 la estimación es del 41%.
- La población urbana de la UE expuesta a niveles de PM_{10} que exceden las AQG de la OMS es

significativamente mayor, y comprende el 81% de la población urbana total en 2010 (Figura ES.2).

El ozono troposférico

El ozono es un contaminante secundario que se forma en la troposfera, la parte más baja de la atmósfera, a partir de reacciones químicas complejas sobre las emisiones de gases precursores como los NO_x y COV no metánicos (COVNM). A escala continental, el metano (CH_4) y el CO también juegan un papel en la formación de O_3 . El ozono es un agente oxidante potente y agresivo, cuyos altos niveles causan problemas de salud respiratoria y llevan a la muerte prematura. Los altos niveles de O_3 también puede dañar las plantas, lo que lleva a una reducción de los rendimientos de los cultivos agrícolas y una disminución del crecimiento de los bosques.

Emisiones de precursores de O_3

Las emisiones de gases precursores del ozono disminuyeron considerablemente entre 2001 y 2010.

En la Unión Europea:

- Las emisiones de NO_x disminuyeron un 26%;
- Las emisiones de COVNM disminuyeron un 27%;
- Las emisiones de CO disminuyeron un 33%.

En la AEMA-32:

- Las emisiones de NO_x disminuyeron un 23%;
- Las emisiones de COVNM disminuyeron un 28%;
- Las emisiones de CO disminuyeron un 35%.

El ozono en Europa resulta también de gases precursores emitidos en otros lugares. Por ejemplo, el aumento de las emisiones globales de CH_4 supuso una mayor concentración de CH_4 en Europa, que a su vez contribuye a la formación de O_3 .

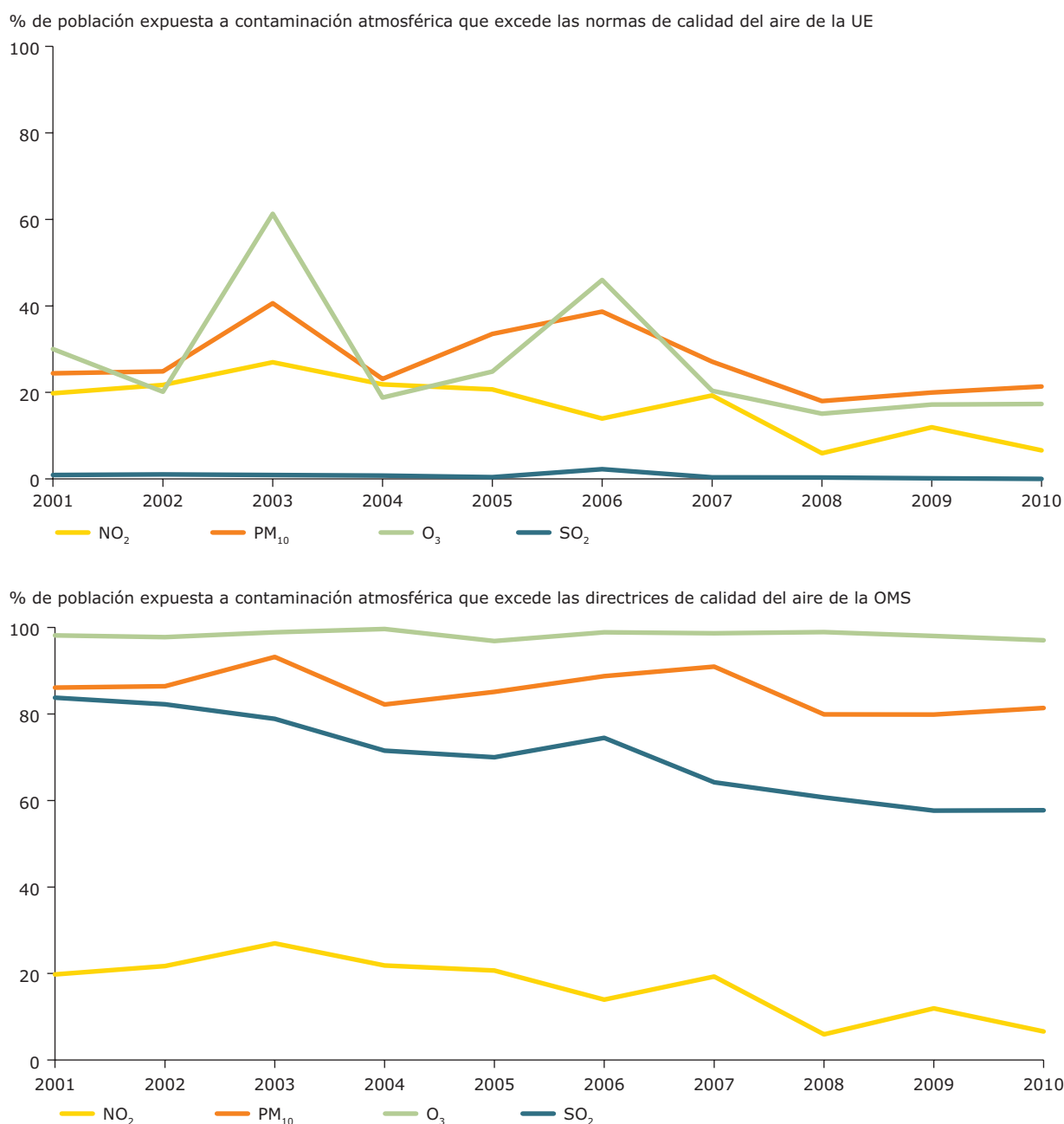
Existe una discrepancia entre los recortes en las emisiones de gases precursores de O_3 en Europa y el cambio en las concentraciones medias de O_3 observadas también en Europa. Las razones incluyen el aumento del desplazamiento intercontinental de O_3 y sus precursores en el hemisferio norte que puedan enmascarar los efectos de las medidas europeas para reducir las emisiones de precursores de O_3 . Por otra parte, la relación de las concentraciones de O_3 con los precursores emitidos en Europa no es lineal.

⁽³⁾ El intervalo refleja parcialmente las variaciones causadas por la meteorología, ya que las condiciones atmosféricas y de dispersión difieren de un año a otro.

La exposición al O_3 no ha disminuido desde 2001. Esto excluye las exposiciones estimadas en 2003 y 2006. Las variaciones entre años están influenciadas por factores meteorológicos. Los veranos de 2003 y 2006 tuvieron condiciones meteorológicas favorables para la formación de O_3 , dando lugar a concentraciones excepcionalmente altas. En otras palabras, mientras las emisiones de gases que contribuyen a la formación de O_3 se redujeron en Europa, las concentraciones de O_3 no se han reducido. Es necesario una mayor reducción de las emisiones de gases precursores de O_3 para lograr reducciones en las concentraciones de O_3 .

Entre el 15% y el 61% ⁽³⁾ de la población urbana de la UE estuvo expuesto a concentraciones de O_3 por encima del valor objetivo de la UE para la protección de la salud humana en el período 2001-2010 (Figura ES.2). Además, entre el 22% y el 69% ⁽³⁾ de las cosechas agrícolas de la AEMA-32 estuvieron expuestas a niveles de O_3 por encima del valor objetivo de la UE para la protección de la vegetación desde 2001 a 2009. Las altas concentraciones de O_3 son más pronunciadas en el sur de Europa.

Figura ES.2 Porcentaje de la población urbana de la UE expuesta a contaminación atmosférica que excede las normas de calidad del aire de la UE (arriba) y las directrices de calidad de aire de la OMS (abajo)



Fuente: AEMA, 2012 (CSI 004)

Principales observaciones relativas a O₃

- A nivel agregado de la UE, no existe una tendencia clara para las concentraciones de O₃ entre 2001 y 2010, ni en la media anual, ni en el indicador relacionado con el valor objetivo establecido por la legislación. Por lo tanto, se puede concluir que las concentraciones en el período de 2001-2010, no reflejan las reducciones en las emisiones europeas de precursores de O₃ en el mismo período.
- Diecisiete por ciento de la población urbana de la UE vive en zonas en las que el valor objetivo para la UE de O₃ para la protección de la salud humana se superó en 2010 (Figura ES.2).
- La población urbana de la UE expuesta a niveles de O₃ superiores a las AQG de la OMS, que son más estrictas que el valor objetivo de la UE, es significativamente mayor y comprende más del 97% de la población urbana total (Tabla ES.1, Figura ES.2).
- Las concentraciones sostenidas de O₃ ambiental de Europa continúan causando daños considerables en el crecimiento de la vegetación y las cosechas, que ocasionan graves costes para la economía de Europa.

Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno se emiten al quemar combustible, como en el transporte por carretera y en las instalaciones industriales. De las especies químicas que componen los NO_x, es el NO₂ el que se asocia con efectos adversos para la salud, ya que las altas concentraciones causan la inflamación de las vías respiratorias y una función pulmonar reducida. Los NO_x también contribuyen a la formación de partículas secundarias inorgánicas y O₃ con efectos asociados sobre la salud y los ecosistemas.

Los compuestos reactivos de nitrógeno (N), emitidos como NO_x y NH₃, son ahora los principales componentes acidificantes en nuestro aire y causan la eutrofización de los ecosistemas. El área de los ecosistemas sensibles en Europa que sufre eutrofización debido a un exceso de N atmosférico sólo ha disminuido ligeramente en los últimos dos decenios. Por otro lado, el área de los ecosistemas sensibles afectadas por la acidificación excesiva de la contaminación atmosférica ha disminuido considerablemente en las últimas dos décadas (debido principalmente a la fuerte reducción de las emisiones de SO₂ y en parte a la reducción de las emisiones de NO_x).

Las emisiones de NO_x y NH₃ siguen causando impactos significativos en los ecosistemas de Europa. Las estimaciones para 2010 muestran que el 69% de la superficie total del ecosistema sensible en la UE corría el riesgo de eutrofización y el 11% estaba en riesgo de acidificación (Hettelingh *et al.*, 2008).

Principales observaciones relativas al NO₂

- Algunas ciudades en Europa muestran un aumento de las concentraciones de NO₂ medidas cerca del tráfico. Esto refleja el creciente número de vehículos diésel nuevos. Las emisiones de gases de escape de los vehículos son más bajas para CO, COVNM y PM, pero pueden ser mayores para NO₂.
- La disminución de las emisiones de NO_x procedentes del transporte (27% entre 2001 y 2010 en la UE) es considerablemente mayor que el descenso de la concentración media anual de NO₂ (aprox. 8% medido en las estaciones cercanas al tráfico, entre 2001 y 2010). Esto se atribuye principalmente al aumento de NO₂ directamente emitido al aire por los vehículos diésel.
- Siete por ciento de la población urbana de la UE vive en zonas donde se superaron el valor límite anual de la UE y las AQG de la OMS para el NO₂ en 2010 (Figura ES.2).

Dióxido de azufre

El dióxido de azufre se emite cuando los combustibles que contienen azufre se queman. Contribuye a la acidificación y sus impactos pueden ser significativos, incluidos los efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos en los ríos y lagos, y los daños a los bosques. El dióxido de azufre puede afectar al sistema respiratorio y reducir la función pulmonar. También es un precursor principal de PM que se asocia con efectos significativos para la salud.

Principales observaciones relativas al SO₂

- Las concentraciones de SO₂ se redujeron a la mitad en la UE, ya que los Estados miembros redujeron sus emisiones de SO_x en un 54% en el período 2001-2010. La reducción de emisiones correspondiente a los países de la AEMA-32 fue del 44%.

- Hay grandes áreas de ecosistemas sensibles de Europa que ya no están expuestos a la acidificación, debido sobre todo a la reducción de las emisiones de azufre.
- 2010 es el primer año en el que la población urbana de la UE no ha estado expuesta a concentraciones de SO₂ por encima del valor límite de 24 horas de la UE (Figura ES.2). En los países de la AEMA-32 un 1,6% de la población urbana ha estado expuesta a concentraciones de SO₂ por encima del valor límite de 24 horas de la UE en 2010.
- La población urbana de la UE expuesta a niveles de SO₂ superiores a las AQG de la OMS es significativamente mayor, y asciende a 58-61% del total de la población urbana entre 2008 y 2010 (Tabla ES.1).

Monóxido de carbono

El monóxido de carbono se emite por la combustión incompleta de combustibles fósiles y biocombustibles y entra en el cuerpo a través de los pulmones. La exposición al CO puede reducir la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo que reduce la entrada de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo.

El tiempo de vida atmosférica de CO es de aproximadamente tres meses. El tiempo de vida relativamente largo permite al CO oxidarse lentamente en dióxido de carbono (CO₂), que también forma O₃ durante este proceso. Por lo tanto, el CO contribuye a la concentración atmosférica de fondo de O₃, con efectos asociados sobre la salud y los ecosistemas.

Principales observaciones relativas al CO

- La reducción observada en la concentración de CO en la UE desde 2001 refleja la disminución de las emisiones de CO en la UE del 33% en la última década.
- La exposición de la población europea a concentraciones de CO por encima del valor límite de la UE y las AQG de la OMS es muy localizada y esporádica (Tabla ES.1).

Metales pesados

Los metales pesados - arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) - se emiten

principalmente como resultado de varios procesos de combustión y actividades industriales. Los metales pesados pueden residir o estar unidos a PM. Además de contaminar el aire, los metales pesados se pueden depositar sobre superficies terrestres o acuáticas y, posteriormente, acumularse en los suelos o sedimentos. Los metales pesados son persistentes en el medio ambiente y pueden bioacumularse en las cadenas alimenticias.

Emisiones de metales pesados

En el período 2001-2010 las emisiones de metales pesados en la UE se redujeron del siguiente modo:

- As en un 4%;
- Cd en un 30%;
- Hg en un 30%;
- Ni en un 41%;
- Pb en un 36%.

Principales observaciones relativas a los metales pesados

- Las concentraciones de As, Cd, Pb y Ni en el aire son generalmente bajas en Europa, con pocos casos de superación de los valores límite u objetivo. Sin embargo, estos contaminantes contribuyen a la deposición y acumulación de los niveles de metales pesados en suelos, sedimentos y organismos.
- A pesar de los recortes en las emisiones de metales pesados estimadas desde 2001 en la UE, una parte significativa de la superficie de los ecosistemas de la UE se encontraba todavía en riesgo de contaminación por metales pesados. La superación de las cargas críticas de Hg⁽⁴⁾ se estima que ocurre en el 54% de la superficie sensible de los ecosistemas de la UE en 2010, mientras que para el Pb, la superficie estimada es del 12% (Slootweg *et al.*, 2010).
- Un número relativamente pequeño de estaciones miden las concentraciones en el aire de As, Cd, Pb y Ni en Europa, ya que los niveles a menudo están por debajo del umbral inferior de evaluación establecido en la legislación de la UE. Un número aún más pequeño ha estado funcionando durante cinco años o más. En el caso de Hg, sólo unas pocas estaciones notifican las concentraciones en el aire de diferentes formas de Hg, lo que dificulta un análisis a nivel europeo.

(4) La definición general de carga crítica es "una estimación cuantitativa de la exposición a contaminantes por debajo de la cual los efectos nocivos significativos sobre elementos sensibles del medio ambiente no se producen de acuerdo con los conocimientos actuales" (UNECE, 2004).

Benceno y benzo(a)pireno

El benceno se libera durante la combustión incompleta de los combustibles utilizados por los vehículos. Otras fuentes son la calefacción de los hogares, el refinado del petróleo y la manipulación, distribución y almacenamiento de la gasolina. La inhalación es la vía dominante de exposición de C_6H_6 en humanos. El benceno es un contaminante cancerígeno. Los efectos adversos más significativos de la exposición prolongada son los daños al material genético de algunas células que pueden causar cáncer.

El benzo(a)pireno (BaP) es un hidrocarburo aromático policíclico (HAP), formado principalmente por la quema de material orgánico como la madera, y de los gases de escape de los automóviles, especialmente de los vehículos diésel. Es un conocido agente causante de cáncer y por este motivo se utiliza como un indicador de la exposición al HAP perjudicial.

Emisiones de C_6H_6 y BaP

- El benceno no se incluye como contaminante individual en los inventarios de emisiones europeas relativas a COV. Sin embargo, la concentración media de C_6H_6 en 2010 medido en las estaciones de tráfico en la UE se ha reducido a menos de la

mitad desde 2001, lo que indica una reducción significativa de las emisiones.

- Las emisiones de BaP en la UE han aumentado un 14% entre 2001 y 2010. En Europa, la contaminación por BaP es un problema en las zonas donde es común el uso de carbón doméstico y la quema de madera.

Principales observaciones relativas a C_6H_6 y BaP

- La superación de los valores límite de C_6H_6 en 2010 se limita a unos pocos lugares en Europa, principalmente situados cerca de fuentes industriales.
- La exposición de la población europea a concentraciones de BaP por encima del valor objetivo es importante y generalizada en Europa central y oriental. Entre el 20% y el 29% de la población urbana de la UE estuvo expuesta a concentraciones de BaP por encima del valor objetivo (1 ng/m^3 con respecto al 2013) en el período de 2008 a 2010. El aumento de las emisiones de BaP en Europa en los últimos años es por lo tanto un motivo de preocupación, ya que está agravando la exposición de la población europea a concentraciones de BaP.

1 Introducción

1.1. Objetivos y cobertura del informe

Antecedentes

Los seres humanos y el medio ambiente en Europa están expuestos a una mezcla compleja de muchos contaminantes atmosféricos emitidos por diversas fuentes y sujetos a procesos atmosféricos que pueden crear nuevos contaminantes. Muchos de estos contaminantes pueden causar graves problemas de salud e impactos en los ecosistemas.

A pesar de una legislación competente y un cierto éxito en el tratamiento de las emisiones atmosféricas, las poblaciones europeas siguen respirando aire que contiene sustancias peligrosas. Entender el "estado" y las tendencias clave que influyen en la calidad del aire en Europa es un primer paso crítico para afrontar esta cuestión.

Este es el antecedente de *"La calidad del aire en Europa – 2012"*, un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente, el segundo de una serie de informes anuales cuyo objetivo es actualizar la información contenida en el informe quinquenal "El medio ambiente europeo - Estado y perspectivas (SOER)" de la Agencia Europea de Medio Ambiente. El informe se produce en apoyo del desarrollo de la política europea y nacional y su aplicación en el campo de la calidad del aire. También es compatible con la gestión de la calidad del aire e informa al público general sobre el estado actual y las tendencias de la calidad del aire en Europa.

Objetivos y cobertura

Este informe presenta una visión general y análisis de la calidad del aire en Europa desde 2001 - cuando el control obligatorio de la concentración en el aire de contaminantes seleccionados produjo, por primera vez, información fiable sobre la calidad del aire - hasta 2010. La evaluación de la situación y tendencias de la calidad del aire se basa en mediciones del aire ambiente, en relación con las emisiones antropogénicas y sus tendencias. También se presenta una visión general de las políticas y medidas a nivel europeo para cada contaminante.

Los vínculos entre las emisiones y las concentraciones ambientales sólo pueden entenderse y ser evidentes por

medio de modelos de calidad del aire. Este informe no incluye el análisis de los datos modelados notificados, debido a la escasez de estos datos disponibles oficialmente por parte de los países europeos a través del mecanismo actual de información e intercambio de datos. Los estudios de modelización notificados que se presentan, se hacen, en su caso, para fortalecer el análisis.

Este informe revisa el avance hacia el cumplimiento de los requisitos de las dos directivas de calidad del aire vigentes (UE, 2004b; UE, 2008c) y describe las políticas y medidas adoptadas a nivel europeo para mejorar la calidad del aire y minimizar los impactos de la contaminación atmosférica en la salud pública y los ecosistemas.

El informe analiza cada contaminante regulado, siguiendo el enfoque de un solo contaminante actualmente adoptado por la legislación comunitaria de calidad del aire y la Organización Mundial de la Salud (OMS) en sus directrices de calidad del aire. En realidad, la contaminación del aire constituye una compleja mezcla de contaminantes que podrían interactuar en términos de sus impactos sobre la salud humana y la vegetación. Por lo tanto, la exposición a la contaminación del aire es en gran parte un proceso de múltiples contaminantes.

En la última década las políticas europeas de reducción de emisiones han seguido un enfoque de múltiples contaminantes y continuarán haciéndolo de esta manera. La comunidad científica de la calidad del aire todavía se centra en los distintos contaminantes individualmente, a pesar de que estamos expuestos a una compleja mezcla de contaminantes. El cambio hacia un enfoque de múltiples contaminantes se describe por esta comunidad como un reto. Se necesita más investigación para entender y cuantificar los posibles efectos sinérgicos o antagónicos entre los contaminantes que se encuentran simultáneamente en el aire ambiente.

Se requieren nuevas funciones de exposición-respuesta para las combinaciones de contaminantes para ayudarnos a caracterizar mejor la complejidad de la exposición y sus efectos. Este será el primer paso hacia la solución de los impactos relativos de los contaminantes del aire y para lograr un enfoque holístico de múltiples contaminantes en las decisiones de calidad del aire.

Tabla 1.1. Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana, el medio ambiente y el clima

Contaminante	Efectos sobre la salud	Efectos ambientales	Efectos climáticos
Partículas (PM)	Puede provocar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares, ataques cardíacos y arritmias, afectar al sistema nervioso central, el sistema reproductivo y causar cáncer. El resultado puede ser muerte prematura.	Puede afectar a animales de la misma manera que a los seres humanos. Afecta el crecimiento de plantas y procesos de los ecosistemas. Puede causar daños a los edificios. Reducción de la visibilidad.	El efecto climático varía dependiendo del tamaño de las partículas y la composición: algunas conducen a un enfriamiento neto, mientras que otras conducen al calentamiento. Puede provocar cambios en los patrones de precipitación. La deposición puede originar cambios en el albedo de superficie.
Ozono (O ₃)	Puede disminuir la función pulmonar; agravar el asma y cualquier otra enfermedad pulmonar. Puede causar muerte prematura.	Daña la vegetación, perjudica la reproducción y crecimiento de las plantas, y disminuye el rendimiento de cultivos. Puede alterar la estructura de los ecosistemas, reducir la biodiversidad y disminuir la absorción de CO ₂ de las plantas	El ozono es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento de la atmósfera.
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	El NO puede afectar al hígado, pulmón, bazo y sangre. Puede agravar enfermedades pulmonares que conducen a síntomas respiratorios y una mayor susceptibilidad a las infecciones respiratorias.	Contribuye a la acidificación y la eutrofización del suelo y del agua, dando lugar a cambios en la diversidad de especies. Actúa como precursor de O ₃ y PM, con efectos ambientales asociados. Puede causar daños en los edificios.	Contribuye a la formación de O ₃ y PM, con efectos climáticos asociados.
Óxidos de azufre (SO _x)	Agrava el asma y puede reducir la función pulmonar e inflamar el tracto respiratorio. Puede causar dolores de cabeza, malestar general y ansiedad.	Contribuye a la acidificación del suelo y las aguas superficiales. Produce lesiones en la vegetación y pérdida de especies locales en sistemas acuáticos y terrestres. Contribuye a la formación de PM con efectos ambientales asociados. Daña edificios.	Contribuye a la formación de partículas de sulfato, enfriando la atmósfera.
Monóxido de carbono (CO)	Puede dar lugar a enfermedades del corazón y dañar el sistema nervioso y causar dolores de cabeza, mareos y fatiga.	Puede afectar a los animales del mismo modo que a los humanos.	Contribuye a la formación de gases de efecto invernadero como el CO ₂ y el O ₃
Arsénico (As)	El As inorgánico es un carcinógeno humano. Puede producir daños en la sangre, corazón, hígado y riñón. También puede dañar el sistema nervioso periférico.	Altamente tóxico para la vida acuática, aves y animales terrestres. Los suelos con alto contenido de As reducen el crecimiento de las plantas y los rendimientos de los cultivos. Los compuestos orgánicos de As son persistentes en el medio ambiente y dados a la bioacumulación.	Sin efectos específicos.
Cadmio (Cd)	El cadmio, especialmente el óxido de cadmio, es probable que sea un carcinógeno. Puede producir daños a los sistemas reproductivo y respiratorio.	Tóxico para la vida acuática. El cadmio es muy persistente en el medio ambiente y se bioacumula.	Sin efectos específicos.
Plomo (Pb)	Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas, especialmente el sistema nervioso. Puede causar parto prematuro, retraso del desarrollo mental y crecimiento reducido.	Bioacumula y afecta negativamente tanto a los sistemas terrestres como acuáticos. Los efectos sobre la vida animal incluyen problemas reproductores y cambios en la apariencia o comportamiento.	Sin efectos específicos.
Mercurio (Hg)	Puede dañar el hígado, los riñones y el sistema digestivo y respiratorio. También puede causar daños cerebrales y neurológicos y perjudicar el crecimiento.	Se bioacumula y afecta negativamente tanto a los sistemas terrestres como acuáticos. Puede afectar a animales de la misma manera que a los seres humanos. Muy tóxico para los organismos acuáticos.	Sin efectos específicos.
Níquel (Ni)	Varios compuestos de Ni se clasifican como carcinógenos humanos. Puede causar reacciones alérgicas en la piel y afectar los sistemas respiratorio, inmunológico y de defensa.	El níquel y sus compuestos pueden tener una toxicidad muy aguda y crónica para la vida acuática. Puede afectar a animales de la misma manera que a los seres humanos.	Sin efectos específicos.
Benceno (C ₆ H ₆)	Carcinógeno humano que puede causar defectos de nacimiento y leucemia. Puede afectar al sistema nervioso central y la producción normal de sangre, y puede dañar el sistema inmunológico.	Tiene un efecto tóxico agudo sobre la vida acuática. Se bioacumula, especialmente en los invertebrados. Conduce a problemas reproductivos y a cambios físicos o de comportamiento. Puede dañar las hojas de los cultivos agrícolas y causar la muerte a plantas.	El benceno es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento de la atmósfera. También contribuye a la formación de O ₃ y aerosoles orgánicos secundarios, que pueden actuar como forzadores del clima.
Benzo-a-pireno (BaP)	Carcinogénico. Otros efectos pueden ser la irritación de ojos, nariz, garganta y bronquios. dos.	Es tóxico para la vida acuática y las aves. Se bioacumula, especialmente en invertebrados	Sin efectos específicos.

1.2. Instrumentos de política y legislación de interés

Estrategia temática sobre contaminación atmosférica

Dentro de la Unión Europea, el Sexto Programa de acción en materia de Medio Ambiente (UE, 2002) solicitaba la elaboración de una estrategia temática sobre la contaminación atmosférica con el objetivo de alcanzar niveles de calidad del aire que no den lugar a impactos y riesgos inaceptables para la salud humana y el medio ambiente. Formulada en 2005, la estrategia temática (CE, 2005b) establece determinados objetivos a largo plazo para mejoras en 2020 en relación con la situación en 2000, específicamente (CE, 2005c):

- una reducción del 47% en la pérdida de la esperanza de vida como resultado de la exposición a las PM;
- una reducción del 10% en la mortalidad por exposición aguda a O₃;
- una reducción del 74% en la deposición ácida excesiva en zonas forestales y una reducción del 39% en las zonas de agua dulce superficial;
- una reducción del 43% en las zonas o ecosistemas expuestos a la eutrofización.

Para lograr estos objetivos, se estima que las emisiones clave tendría que caer significativamente en el período 2000-2020, a saber:

- Reducir las emisiones de SO₂ en un 82%;
- Reducir las emisiones de NO_x en un 60%;
- Reducir las emisiones de COV en un 51%;
- NH₃ en un 27%;
- PM_{2,5} primarias (partículas finas emitidas directamente al aire) en un 59%.

En la "Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos", la Comisión Europea ha propuesto la siguiente visión de política: "En 2020, se habrán cumplido las normas provisionales de calidad del aire de la UE, incluso en los puntos de alarma de las zonas urbanas, y estas normas se habrán actualizado y se habrán definido medidas adicionales para seguir reduciendo las diferencias hacia el objetivo final de alcanzar niveles de calidad del aire que no causen impactos significativos sobre la salud y el medio ambiente" (CE, 2011a).

Instrumentos legales

En las últimas décadas, la UE ha introducido y aplicado varios instrumentos legales para mejorar la calidad del aire. Los diferentes mecanismos jurídicos para la gestión de la calidad del aire comprenden límites o metas para las concentraciones ambientales; límites a las emisiones totales (por ejemplo, los totales nacionales), y regular las emisiones de fuentes o sectores específicos ya sea mediante el establecimiento de límites de emisión (para las emisiones de vehículos, por ejemplo) o mediante el establecimiento de requisitos en la calidad del producto (por ejemplo, azufre (S) y C₆H₆ en el combustible). Las directivas europeas que actualmente regulan las concentraciones ambientales de los principales contaminantes atmosféricos están diseñadas para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana y el medio ambiente. Comprenden:

- Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa, que regula las concentraciones en el aire ambiente de SO₂, NO₂ y NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}, Pb, C₆H₆, CO y O₃ (UE, 2008c);
- Directiva 2004/107/CE relativa al As, Cd, Hg, Ni y HAP (incluido el BaP) en el aire ambiente (UE, 2004b).

En el caso de incumplimiento con el límite de calidad del aire y los valores objetivo establecidos en la legislación europea, los planes de gestión de la calidad del aire deben desarrollarse y aplicarse en las zonas donde se producen los casos de superación. Los planes tienen por objeto reducir las concentraciones de contaminantes atmosféricos a niveles inferiores al límite y a los valores objetivo.

Varias directivas de la UE regulan las emisiones antropogénicas de contaminantes atmosféricos, incluidos los precursores de contaminantes atmosféricos importantes, como el O₃ y PM. La Directiva sobre techos nacionales de emisión (UE, 2001b), el Protocolo de Gotemburgo (UNECE, 1999) y el Convenio de la ONU sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia (LRTAP), que se ha revisado recientemente (UNECE, 2012), establecen límites nacionales de emisión de SO₂, NO_x, COVNM y NH₃ con el fin de reducir la acidificación, la eutrofización y el O₃ troposférico.

Del mismo modo, varias directivas y convenios internacionales regulan las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos de fuentes y sectores específicos, ya sea mediante el establecimiento de límites de emisión, al exigir el uso de la mejor tecnología

disponible, o mediante el establecimiento de requisitos sobre la composición del combustible. Estos incluyen:

- Directiva 2010/75/UE relativa a las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (UE, 2010b), dirigida a algunas instalaciones industriales, agrícolas y de tratamiento de residuos. La Directiva regula las emisiones atmosféricas de SO₂ y otros compuestos de azufre, NO_x y otros compuestos de nitrógeno, CO, COV, metales y sus compuestos, polvo, amianto, cloro (Cl) y As y sus compuestos, flúor (F) y sus compuestos, cianuros, otros compuestos cancerígenos y mutagénicos y dibenzodioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados.
- Las "normas Euro" para las emisiones de vehículos de carretera que establecen límites de emisión de NO_x, hidrocarburos (HC), CO y PM para la mayoría de tipos de vehículos. Los límites Euro 4 se abordan en la Directiva 98/70/CE (UE, 1998a, 1998b) y la Directiva 2005/55/CE (UE, 2005). Los límites Euro 5 y 6 están cubiertos por el Reglamento (CE) n° 692/2008 (UE, 2008a) y el Reglamento (CE) n° 595/2009 (UE, 2009b).
- Directiva 94/63/CE relativa al control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles resultantes del almacenamiento de gasolina y su distribución desde las terminales a las estaciones de servicio (UE, 1994) y la Directiva 2009/126/CE relativa a la recuperación de vapores de gasolina de la fase II durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio (UE, 2009a).
- Directiva 1999/13/CE relativa a la limitación de emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones (UE, 1999a).
- Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (UE, 1991).
- Directiva 1999/32/CE sobre la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos (UE, 1999b) y la Directiva 2003/17/CE (que modifica la Directiva 98/70/CE) relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo (UE, 2003).
- El Convenio sobre la contaminación del mar, MARPOL 73/78 (IMO, 1973), que es el principal convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques debido a causas operativas o accidentales. El Anexo VI establece límites a la contaminación atmosférica ocasionada por los buques de SO_x, NO_x, COV y PM de los escapes de los buques, y prohíbe las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono.

La Tabla 1.2 resume la cobertura de las directivas europeas y los convenios internacionales que regulan las emisiones de contaminantes atmosféricos (ya sea directa o indirectamente mediante la regulación de las emisiones de precursores). La lista no es exhaustiva. El Anexo 2 proporciona una descripción más detallada de las directivas que regulan las emisiones a la atmósfera y la calidad del combustible.

Las Directivas de calidad del aire de 2004 y 2008 no especifican un objetivo de la calidad del aire para NH₃. El Protocolo de Gotemburgo (UNECE, 1999) en el marco del convenio LRTAP y la Directiva de techos nacionales de emisión (UE, 2001b) fijaban objetivos de reducción de emisiones de NH₃, con el objetivo de reducir la acidificación y la eutrofización. También se requiere la notificación de las emisiones de NH₃ en virtud de la Directiva relativa a la Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) (UE, 2008b), ahora sustituida por la Directiva 2010/75/UE relativa a las emisiones industriales (UE, 2010).

1.3. Calidad del aire y cambio climático

1.3.1. Calidad del aire y cambio climático - interacciones políticas

La actividad humana y los procesos naturales provocan emisiones de varios compuestos de gases y partículas a la atmósfera que afectan tanto a la calidad del aire como al clima. El dióxido de carbono es el principal factor del calentamiento global y cambio climático. Además, "forzadores del clima" distintos del CO₂ (definidos como todos los compuestos gaseosos o de partículas que contribuyen al cambio climático, incluyendo O₃, CH₄, óxido nitroso, gases F (gases que contienen flúor), así como PM) influyen en el equilibrio energético y el clima de la tierra.

Como muchos de los forzadores del clima distintos del CO₂ son contaminantes atmosféricos comunes, la contaminación del aire tiene una influencia importante en el clima regional y global. Las PM en suspensión (aerosoles) y sus componentes químicos influyen directamente en el equilibrio energético de la tierra, a través de la reflexión y absorción de la radiación solar e infrarroja en la atmósfera. En general, la absorción de la radiación conduce a un forzamiento positivo (aumento de la temperatura), mientras que la reflexión conduce a un forzamiento negativo (enfriamiento de la atmósfera).

La Figura ES.1 ilustra los vínculos entre los contaminantes emitidos y los impactos sobre la calidad del aire y el clima. El O₃ troposférico contribuye al calentamiento global. También es uno de los dos principales contaminantes atmosféricos que afectan gravemente la salud pública y los ecosistemas y

Tabla 1.2. Legislación en Europa para regular emisiones y concentraciones ambientales de los contaminantes atmosféricos

	Contaminantes	PM	O ₃	NO ₂ NO _x NH ₃	SO ₂ SO _x S	CO	Heavy metals	BaP PAH	COV
Políticas									
Directivas que regulan la calidad ambiente del aire	2008/50/EC	PM	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	Pb		C ₆ H ₆
	2004/107/EC						As, Cd, Hg, Ni	BaP	
Directivas que regulan las emisiones de contaminantes atmosféricos	2001/81/EC	(^a)	(^b)	NO _x , NH ₃	SO ₂				COVNM
	2010/75/EU	PM	(^b)	NO _x , NH ₃	SO ₂	CO	Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V		COV
	Límites Euro sobre emisiones de vehículos en carretera	PM	(^b)	NO _x		CO			HC, NMHC
	94/63/EC	(^a)	(^b)						COV
	2009/126/EC	(^a)	(^b)						COV
	1999/13/EC	(^a)	(^b)						COV
Directivas que regulan la calidad de los combustibles	1999/32/EC	(^a)			S				
	2003/17/EC	(^a)	(^b)		S		Pb	PAH	C ₆ H ₆ , HC, COV
Convenios internacionales	MARPOL 73/78	PM	(^b)	NO _x	SO _x				COV
	LRTAP	PM (^a)	(^b)	NO ₂ , NH ₃	SO ₂	CO	Cd, Hg, Pb	BaP	COVNM

Nota: (^a) Las directivas y convenios que limitan las emisiones de precursores de PM, como SO₂, NO₂, NH₃ y COV, indirectamente intentan reducir las concentraciones ambientales de PM.

(^b) Las directivas y convenios las emisiones de precursores de O₃, como NO_x, COV y CO, indirectamente intentan reducir las concentraciones ambientales de O₃.

se forma en la atmósfera a partir de varios gases precursores. Las partículas finas, el otro mayor contaminante atmosférico, también tienen importantes repercusiones climáticas. Uno de los componentes de las partículas finas, el carbono negro, tiene un efecto de calentamiento mientras que otros constituyentes, por ejemplo, sulfatos y nitratos, pueden enfriar el clima.

Las partículas también pueden causar forzamiento climático indirectamente, a través de los cambios que están causando en las propiedades de las nubes, incluyendo la reflectividad de las nubes y la precipitación.

Las medidas para reducir las emisiones de carbono negro y precursores del O₃ tendrán un doble beneficio, protegiendo la salud humana a nivel local y el clima (Shindell *et al.*, 2012). El metano es tanto un gas de efecto invernadero como un contribuyente a la formación del O₃ troposférico. Las emisiones de metano (principalmente de la gestión de la agricultura, la energía y los residuos) aumentó continuamente durante el siglo XX, antes de que el crecimiento se desacelerara después de 1990. La reducción de CH₄ reducirá los niveles de O₃ que dañan la salud y los ecosistemas y reducirá la magnitud del cambio climático. Por lo tanto, hay formas de abordar conjuntamente la calidad del aire y el cambio climático, definiendo políticas

y medidas que reduzcan el impacto de la actividad humana sobre el cambio climático y sobre la calidad del aire al mismo tiempo (efecto rápido o medidas de beneficio colateral). Por otro lado, también hay medidas que reducen el impacto sobre la calidad del aire, pero aumentan el impacto sobre el cambio climático o viceversa (medidas ganar-perder).

La Unión Europea, los gobiernos, así como las autoridades regionales y locales han desarrollado políticas para prevenir la contaminación del aire con el fin de proteger la salud humana, los ecosistemas y los materiales, y están considerando tomar nuevas medidas de política (por ejemplo, el CLRTAP de la CEPE de 2012 y la revisión de 2013 de la UE sobre políticas del aire). Del mismo modo, las políticas se desarrollan y aplican a niveles de gobierno internacional y (sub) nacional para reducir al mínimo los efectos negativos del cambio climático. Estas políticas se desarrollaron en gran medida de manera independiente, pero cada vez hay más conciencia entre los responsables políticos de los numerosos vínculos entre la contaminación atmosférica y el cambio climático. En general, la legislación introducida para hacer frente a la contaminación del aire y el cambio climático ha dado lugar a mejoras tecnológicas y a la consecuente reducción de la contaminación mediante la reducción de las emisiones. Algunos ejemplos de estas mejoras tecnológicas son la introducción de catalizadores

de tres vías para vehículos de gasolina, quemadores de bajo contenido de nitrógeno en centrales y mejoras de eficiencia en los procesos de producción y de energía, así como en productos para el hogar y motores de vehículos. Sin embargo, se puede hacer más para reducir tanto las emisiones de contaminantes atmosféricos como los forzadores del clima mediante, por ejemplo, la reducción de la combustión de combustibles fósiles y otros recursos, como la mejora de la eficiencia de recursos, el cambio de fuentes de energía, la conservación de energía e iniciativas para inducir un cambio de comportamiento que conduce a una menor presión ambiental.

1.3.2. Impactos en la calidad del aire en Europa a partir de la adopción de las políticas europeas sobre el cambio climático

En la hoja de ruta de la UE para avanzar hacia una economía baja en carbono competitiva en 2050 (CE, 2011b), la Comisión Europea establece la ambición de reducir las emisiones nacionales de GEI en un 80% en 2050 en comparación con 1990, estableciendo así una perspectiva a largo plazo. En diciembre de 2011, la Comisión también adoptó una hoja de ruta de la energía para el año 2050 (CE, 2011c), que está estrechamente vinculada a la hoja de ruta de una economía baja en carbono, ya que las emisiones de GEI son resultado, en gran medida, del uso de la energía.

Entre los elementos importantes de la transición hacia una economía baja en carbono se incluyen: la reducción de la demanda final de energía, el uso creciente de biocombustibles para sustituir los combustibles fósiles, la aplicación de captura y almacenamiento de carbono (CCS) en la industria y en el sector energético; y el aumento de la cuota de la energía eólica, solar, hidroeléctrica, geotérmica, así como la energía nuclear en la producción de electricidad, junto con una mayor participación de la electricidad en el consumo final de energía.

El efecto de las medidas climáticas sobre la contaminación del aire depende de la naturaleza y el nivel de ambición de las medidas climáticas que se están adoptando. Es un hecho ampliamente reconocido que las medidas para reducir la contaminación del aire y los GEI a menudo se dirigen a las mismas fuentes de emisión, instalaciones de combustión, tubos de escape de vehículos y la gestión del estiércol y que el control de GEI pueden tener beneficios colaterales o compensaciones recíprocas para las emisiones de contaminantes atmosféricos y vice-versa (AEMA, 2006; AEMA, 2010a). Sin embargo, diversos estudios

han puesto de manifiesto los beneficios colaterales potenciales sobre la contaminación atmosférica procedente de las políticas climáticas futuras con o sin otras medidas específicas de reducción de la contaminación. Por ejemplo, el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea ha demostrado importantes beneficios colaterales potenciales en términos de reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos a raíz de una política climática global efectiva en 2030 y 2050 que mantendría el incremento de la temperatura mundial media a menos de dos grados en comparación con los valores preindustriales (van Aardenne *et al.*, 2010).

Un estudio reciente realizado por el PNUMA/OMM (2011) demostró que la rápida aplicación de los controles de las emisiones existentes de carbono negro y metano serán una manera coste-efectiva para reducir el calentamiento global y la protección de la salud humana y los ecosistemas frente al cambio climático y la contaminación atmosférica. Esto es especialmente cierto para las regiones no europeas, en particular Asia. Para el análisis de los beneficios colaterales en Europa, Colette *et al.* (2012) cuantificaron los beneficios colaterales de los escenarios de mitigación del cambio climático sobre los contaminantes atmosféricos utilizando el GEA (*Global Energy Assessment*) y dos de los escenarios de mitigación RCP (*Representative Concentration Pathways*) del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático): RCP4.5 y RCP2.6. Dos escenarios GEA (HIGH_CLE y LOW_CLE⁽⁵⁾) se aplicaron en el modelo CHIMERE de transporte de química atmosférica para evaluar tales impactos potenciales y beneficios colaterales en 2030. Los resultados indican que las concentraciones superficiales de NO₂ podrían disminuir de manera significativa en 2030 en Europa, por lo que en el escenario más optimista los puntos de alarma actuales apenas estarían por encima de los niveles de fondo. La formación de ozono también disminuiría en la mayor parte de Europa, aunque se observan algunos aumentos en ciertas áreas. Para las partículas, el descenso previsto para el año 2030 haría que las fuentes naturales (resuspensión de polvo mineral y sal marina) fueran los contribuyentes dominantes en las concentraciones de PM₁₀ en Europa.

Sin embargo, el efecto de algunas políticas climáticas sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos depende de la tecnología utilizada, y puede ser diferente para los distintos contaminantes atmosféricos. Según la AEMA (2011a), mientras algunas variantes de CCS son claramente buenas para las emisiones de contaminantes atmosféricos (lo que implica emisiones bajas), la aplicación de otras tecnologías podría llevar

(5) HIGH_CLE: aplicación completa de toda la legislación mundial actual y prevista sobre contaminación atmosférica; sin políticas específicas de cambio climático y acceso energético.

LOW_CLE: aplicación completa de toda la legislación mundial actual y prevista sobre contaminación atmosférica; política climática estricta, cumplimiento aproximado con el límite de aumento máximo de 2 grados de la temperatura mundial para 2100.

a un aumento de las emisiones de contaminantes atmosféricos (por ejemplo, NH_3 y NO_x). Del mismo modo, la introducción a gran escala de la combustión de biomasa, como parte de una política sobre el cambio climático puede provocar emisiones sustancialmente mayores de $\text{PM}_{2,5}$ y sustancias cancerígenas - como BaP a menos que se tomen medidas de reducción. Por lo tanto, dependiendo de las medidas climáticas adoptadas, los efectos sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos pueden ser beneficiosas o perjudiciales.

El creciente reconocimiento internacional de la importancia de abordar la contaminación atmosférica y el cambio climático de manera simultánea se refleja, por ejemplo, en el clima y la Coalición del Clima y el Aire Limpio para reducir los contaminantes de corta duración (<http://www.unep.org/ccac>) y el anuncio de la Iniciativa sobre la contaminación atmosférica y climática del Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) y la Química Atmosférica Global Internacional (*International Global Atmospheric Chemistry*, IGAC) (IGBP/IGAC, 2012). El concepto de la contaminación atmosférica y el clima se ha introducido en la estrategia a largo plazo de la LRTAP que, por ejemplo, identificó la evaluación de la viabilidad de incorporar forzadores del clima de corta duración (SLCF) en instrumentos como la revisión del Protocolo de Gotemburgo. Los primeros esfuerzos deben centrarse en las medidas dirigidas al carbono negro como componente de las PM y en la elaboración de directrices para los inventarios de emisiones de carbono negro (Decisión EB 2011/14 del CLRTAP, CEPE 2012).

Sin embargo, aún quedan muchos retos en la traducción de este conocimiento a la acción y se necesitan más estudios para comprender mejor y cuantificar los impactos en la calidad del aire en Europa tras la adopción de las políticas europeas sobre el cambio climático.

1.3.3. *Partículas, tanto contaminantes atmosféricas como forzadores del clima*

Como se mencionó en la Sección 1.3.1, las partículas atmosféricas son tanto un contaminante atmosférico importante como un forzador del clima. Las partículas pueden aumentar o disminuir el calentamiento global, en función de sus características y propiedades ópticas. Las partículas "blancas" con alta capacidad para reflejar la luz solar, actúan principalmente como agentes de enfriamiento, mientras que las partículas "negras" o "marrones" absorben la luz solar y actúan como agentes de calentamiento. Por otra parte, las partículas pueden tener también efectos indirectos sobre el clima, ya que pueden desempeñar un papel importante en la formación, características y duración de las nubes, e influir en las propiedades de radiación de las nubes y

los patrones de precipitación. Además, la deposición de partículas de carbono negro en la nieve y el hielo pueden contribuir a elevar las temperaturas localmente, y a un aumento de la tasa de fusión del hielo. La desaparición de la nieve o el hielo de la superficie terrestre o marina exacerbará el calentamiento global, ya que la propiedad de reflejar la luz solar (albedo) de la superficie cambia dramáticamente.

La complejidad de las características de las partículas y su distribución y transformación desigual en la atmósfera hace que sea muy difícil predecir su participación directa e indirecta en el sistema climático. Los actuales modelos atmosféricos aún carecen de una descripción completa y detallada del proceso del comportamiento y los efectos de las partículas en la atmósfera, especialmente en relación con las interacciones aerosol-nube. Por otra parte, y a pesar de los avances considerables desde el Tercer Informe de Evaluación del IPCC, las complejas relaciones y mecanismos de retroalimentación entre las partículas, el clima y los ecosistemas (que también emiten partículas, dependiendo de las condiciones externas, como el clima y la composición atmosférica) no se conocen ni describen detalladamente en los modelos (Solomon *et al.*, 2007).

Las partículas contribuyen principalmente a enfriar el clima, incluso si algunas contribuyen al calentamiento (por ejemplo, el carbono negro y minerales que contienen específicamente cobre y compuestos de hierro). El IPCC (Solomon *et al.*, 2007) estimó que el efecto directo total de las partículas en el clima sería $-0,5 \pm 0,4 \text{ W/m}^2$, incluyendo tanto los efectos de enfriamiento como los de calentamiento (estos últimos estimados en $0,2 \pm 0,15 \text{ W/m}^2$ para el carbono negro). El efecto indirecto total de las partículas en el forzamiento climático se estimó entre $-0,3$ y $-1,8 \text{ W/m}^2$. Ramanathan y Carmichael (2008) estimaron efectos de calentamiento considerablemente mayores debido a las partículas de carbono negro. Como indican el estudio del PNUMA/OMM (2011) y otros, se han identificado algunas estrategias de resultado rápido donde la reducción de ciertas emisiones, como las del carbono negro, no conllevaron un aumento de los problemas de contaminación atmosférica, mientras que el éxito de la mitigación del cambio climático se encuentra en la reducción de las emisiones de CO_2 .

1.3.4. *Importancia del transporte intercontinental de contaminantes atmosféricos*

Aunque la influencia de las fuentes de emisión en la concentración atmosférica suele ser mayor cerca de las fuentes, el transporte intercontinental de O_3 y PM y sus precursores contribuye a graves problemas de salud pública y daños a los ecosistemas naturales y agrícolas en muchas partes del mundo (Naciones Unidas, 2010b).

Las observaciones actuales y pasadas proporcionan una gran cantidad de evidencia de que las concentraciones y deposición de O_3 y PM están influenciadas por el transporte atmosférico entre continentes y en algunos casos, en todo el mundo (Naciones Unidas, 2010b).

En cuanto a las PM, las tendencias a largo plazo en las observaciones de concentración y deposición húmeda superficial (a través de la precipitación) de PM en lugares remotos, así como estudios de modelos de simulación en las regiones de origen y receptoras, proporcionan evidencia clara del transporte intercontinental. Además, las mediciones también han demostrado la importancia de la formación de partículas secundarias a partir de gases precursores transportados desde otras regiones. Las mediciones in situ y observaciones por satélite han establecido la importancia del transporte intercontinental de PM de las regiones áridas, los incendios forestales y las fuentes antropogénicas. Los estudios han demostrado que, debido al transporte atmosférico y los procesos químicos, la formación de partículas puede tener lugar a grandes distancias de las fuentes de gases precursores. Sin embargo, siguen existiendo diferencias en el conocimiento y la comprensión de las propiedades y flujos de partículas de aerosol (contaminación, polvo, emisiones de la quema de biomasa) entre continentes (Naciones Unidas, 2010a).

En cuanto al O_3 , las mediciones directas de O_3 así como las mediciones de gases precursores y los estudios del modelo de simulación en regiones de origen y receptoras evidencian su transporte intercontinental. Se han observado columnas de O_3 en la troposfera libre y en los sitios de gran altitud. Lo más importante, se ha medido sistemáticamente una tendencia creciente de las concentraciones en masas de aire sin la contribución de las emisiones antropogénicas locales en un número de sitios remotos en todo el hemisferio norte (Naciones Unidas, 2010a). Las mediciones en las costas occidentales de Europa y América del Norte muestran

que los flujos de aire transoceánicos pueden llevar a altas concentraciones de O_3 , lo suficientemente altas como para contribuir sustancialmente a la superación de los objetivos de calidad del aire para concentraciones de O_3 . La topografía compleja puede mejorar la mezcla de O_3 transportado con el aire de superficie a grandes altitudes.

Además, los experimentos basados en varios modelos realizados por el Grupo de Trabajo sobre el Transporte Hemisférico de la Contaminación del Aire (Hemispheric Transport of Air Pollution, HTAP), evaluó la contribución teórica del transporte intercontinental al O_3 troposférico y las concentraciones de PM (Naciones Unidas, 2010a), cuantificando la importancia relativa de los cambios de las emisiones fuera de una región específica (por ejemplo, Europa) en comparación con los cambios de emisiones dentro de la región. El modelo asume una reducción del 20% en el cambio de las emisiones y el análisis utiliza el concepto de RAIR⁽⁶⁾. Para el O_3 troposférico, el estudio señalaba que al menos 30% de la variación de los cambios modelados en la concentración de O_3 troposférico se pueden atribuir al transporte intercontinental. El impacto fue mayor para el caso en el que las emisiones de América del Norte influyen en los niveles de superficie de O_3 en Europa, seguido del impacto de las emisiones europeas en los niveles de superficie de O_3 en Asia meridional y oriental. Para las PM, el modelo HTAP encontró una contribución menor del transporte intercontinental resultando de ello, por ejemplo, el 5% de los cambios modelados en la concentración de PM de superficie en Europa. Es importante enfatizar que estos estudios de modelos están asociados con importantes incertidumbres y sólo se deben utilizar como indicador de la importancia y el impacto del transporte intercontinental en la calidad del aire. Se necesitan más estudios para atribuir la superación de la calidad del aire en Europa a las emisiones de contaminantes del aire no europeas.

⁽⁶⁾ La métrica de la Respuesta Anual Intercontinental Relativa se define como la suma de los cambios en la concentración media regional anual en una región debido al descenso del 20% de las emisiones en otras regiones del mundo dividida por la suma de los cambios en la concentración en una región debido al descenso del 20% tanto en la región receptora como en otras regiones mundiales. Un valor de 100% indica que la calidad del aire está dominada al 100% por las emisiones de otras regiones mundiales. Las regiones mundiales son Norte América, Europa, Asia del Este y Asia meridional.

2 Partículas (PM)

2.1. Fuentes y efectos de las PM

2.1.1. Orígenes de PM en el aire

Partículas es el término general utilizado para una mezcla de partículas (sólidas y líquidas) suspendida en el aire, conocidas colectivamente como aerosoles, con una amplia gama de tamaño y composición química. $PM_{2,5}$ se refiere a "partículas finas" que tienen un diámetro de 2,5 micras o menos. PM_{10} se refiere a las partículas con un diámetro de 10 micras o menos (véase la Figura 2.1). Las PM_{10} incluyen la fracción "partículas gruesas", además de la fracción $PM_{2,5}$.

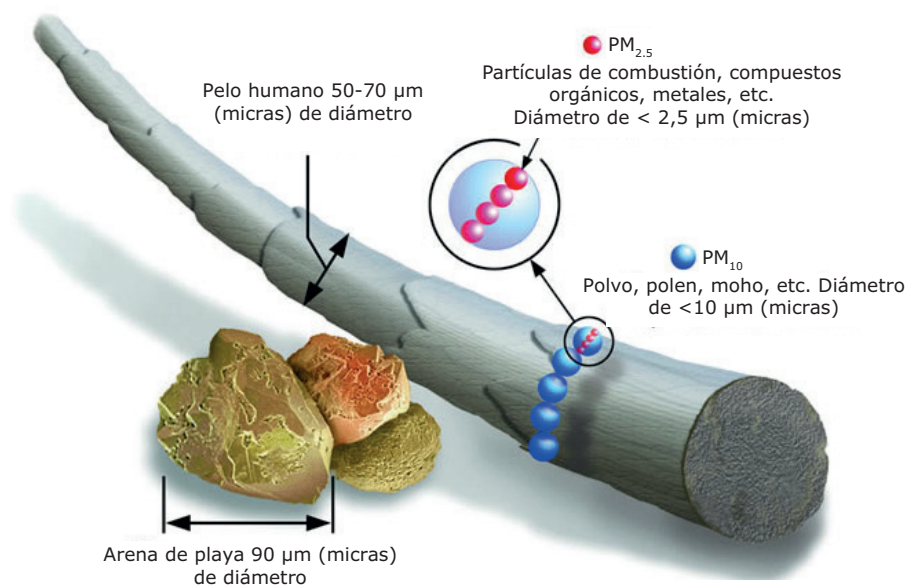
Las partículas son primarias debido a que las partículas entran en la atmósfera directamente (por ejemplo, de chimeneas) o se forman en la atmósfera a partir de la oxidación y transformación de emisiones gaseosas. Estas últimas se denominan partículas secundarias. Los precursores más importantes (contaminantes gaseosos que contribuyen a la formación de partículas) de las partículas secundarias son SO_2 , NO_x , NH_3 y COV (que representan una clase de compuestos químicos cuyas moléculas contienen

carbono). Los principales gases precursores de SO_2 , NO_x y NH_3 reaccionan en la atmósfera para formar amonio y otras formas de compuestos de sulfato y nitrato que se condensan y forman nuevas partículas en el aire, llamadas aerosoles inorgánicos secundarios (AIS). Ciertos COV se oxidan a compuestos menos volátiles, formando el aerosol orgánico secundario (AOS).

Cuando todos los componentes químicos principales del aerosol, incluido el material de corteza, sal marina, carbono negro, polvo, AIS y AOS se miden, representan alrededor del 70% o más de la masa de PM_{10} y $PM_{2,5}$. El resto se piensa que se debe a la presencia de agua o a la posible subestimación de la relación de masa molecular cuando se estiman las concentraciones de materia orgánica (Putaud *et al.*, 2004).

Las partículas pueden ser de origen natural, por ejemplo, sal marina, el polvo suspendido naturalmente, polen, cenizas volcánicas (véase AEMA, 2012e) o de fuentes antropogénicas, principalmente de la quema de combustible en la generación de energía térmica, incineración, la calefacción de los hogares de los hogares y vehículos, entre otros. En las ciudades, los

Figura 2.1. Ilustración del tamaño de las partículas $PM_{2,5}$ y PM_{10}



Fuente: EPA, 2010

gases de escape de los vehículos, re-suspensión del polvo del suelo y la quema de madera, combustible o carbón para la calefacción de los hogares son importantes fuentes locales.

2.1.2. Efectos de las PM

Los estudios epidemiológicos atribuyen los efectos más graves sobre la salud debidos a la contaminación del aire a las PM y, en menor medida, al O₃. Incluso a concentraciones por debajo de las directrices actuales relativas a la calidad del aire, se espera que las PM supongan un riesgo para la salud. La evidencia científica no sugiere un umbral por debajo del cual no se puedan anticipar efectos adversos para la salud con la exposición a PM (OMS, 2006).

Los efectos sobre la salud de las PM finas (PM_{2,5}) se deben a su inhalación y penetración en los pulmones. Tanto las interacciones químicas como físicas con los tejidos del pulmón pueden provocar irritación o daño. Cuanto menores son las partículas, más profundamente penetran en los pulmones. Los efectos de mortalidad de las PM están claramente asociadas con la fracción PM_{2,5} que en Europa representa el 40-80% de la concentración másica de PM₁₀ en el aire ambiente. Sin embargo, la fracción más gruesa de 2,5-10 µm de PM₁₀ también tiene repercusiones en la salud y afecta a la mortalidad. Aunque crece la evidencia de que las PM_{2,5} son quizás un problema de salud mayor, en la actualidad las mediciones de calidad del aire ambiente y los datos de emisiones a menudo sólo están disponibles para las PM₁₀.

Los niveles actuales de exposición a PM experimentados por la mayoría de las poblaciones más urbanas y rurales tienen efectos nocivos sobre la salud humana. La exposición crónica a PM contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. La mortalidad asociada con la contaminación del aire es aproximadamente 15-20% mayor en las ciudades con altos niveles de contaminación en comparación con ciudades más limpias. En la Unión Europea, la esperanza de vida media se estima que es 8,6 meses menor debido a la exposición a PM_{2,5} resultantes de las actividades humanas (OMS, 2008).

Además de los efectos sobre la salud humana, las PM también pueden tener efectos adversos sobre el cambio climático y los ecosistemas, como se indica en la Tabla 1.1. Las PM también contribuyen a ensuciar y pueden tener un efecto corrosivo sobre el patrimonio material y cultural, dependiendo de la composición de las PM.

2.2. Normas europeas de calidad del aire para PM

Los valores límite y objetivo de PM₁₀ y PM_{2,5} de la UE para la protección de la salud se muestran en la Tabla 2.1. La fecha límite para que los Estados miembros cumplieran los valores límite de PM₁₀ fue de 1 enero de 2005. La fecha límite de cumplimiento con el valor objetivo para PM_{2,5} (25 µg/m³) fue el 1 enero de 2010, mientras que los plazos para el cumplimiento de los otros valores límite y de "obligación" para PM_{2,5} (20 µg/m³) son 2015 o 2020.

Tabla 2.1. Valores límite y objetivo de calidad del aire para PM₁₀ y PM_{2,5} de acuerdo a la Directiva sobre calidad del aire

Tamaño de fracción	Periodo medio	Valor	Comentarios
Valor límite, PM ₁₀	Un día	50 µg/m ³	No superarse más de 35 días al año. A cumplirse a partir del 1 de enero de 2005
Valor límite, PM ₁₀	Año	40 µg/m ³	A cumplirse a partir del 1 de enero de 2005
Valor objetivo, PM _{2,5}	Año	25 µg/m ³	A cumplirse a partir del 1 de enero de 2010
Valor límite, PM _{2,5}	Año	25 µg/m ³	A cumplirse a partir del 1 de enero de 2015
Valor límite, PM _{2,5} ^(a)	Año	20 µg/m ³	A cumplirse a partir del 1 de enero de 2020
Obligación en materia de concentración de la exposición, PM _{2,5} ^(b)		20 µg/m ³	2015
Objetivo de reducción a la exposición, PM _{2,5} ^(b)	Reducción del 0-20% en la exposición (dependiendo del indicador medio de exposición en el año de referencia) a cumplirse a partir de 2020		

Nota: ^(a) Valor límite indicativo (Fase 2) para ser revisados por la Comisión en 2013 a la luz de nuevas informaciones sobre efectos en la salud y el medio ambiente, la viabilidad técnica y la experiencia del valor objetivo en los Estados miembros.

^(b) Basado en una media de tres años de las mediciones de concentraciones en ubicaciones de fondo urbano de distintas zonas y aglomeraciones del territorio de un Estado miembro.

Fuente: UE, 2008c.

Para PM_{10} existen valores límite de exposición a corto plazo (24 horas) y largo plazo (anual), mientras que para las $PM_{2,5}$ sólo existen valores de exposición prolongada (anual). En Europa, el valor límite a corto plazo para PM_{10} (es decir, no más de 35 días por año, con una concentración media diaria superior a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es el valor límite que más a menudo se excede en las ciudades y zonas urbanas europeas.

Las directrices de calidad del aire (AQG) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que se muestran en la Tabla 2.2, son más estrictas que las normas de calidad del aire de la UE. La OMS (2008) explica el razonamiento detrás de sus valores límite de la siguiente manera:

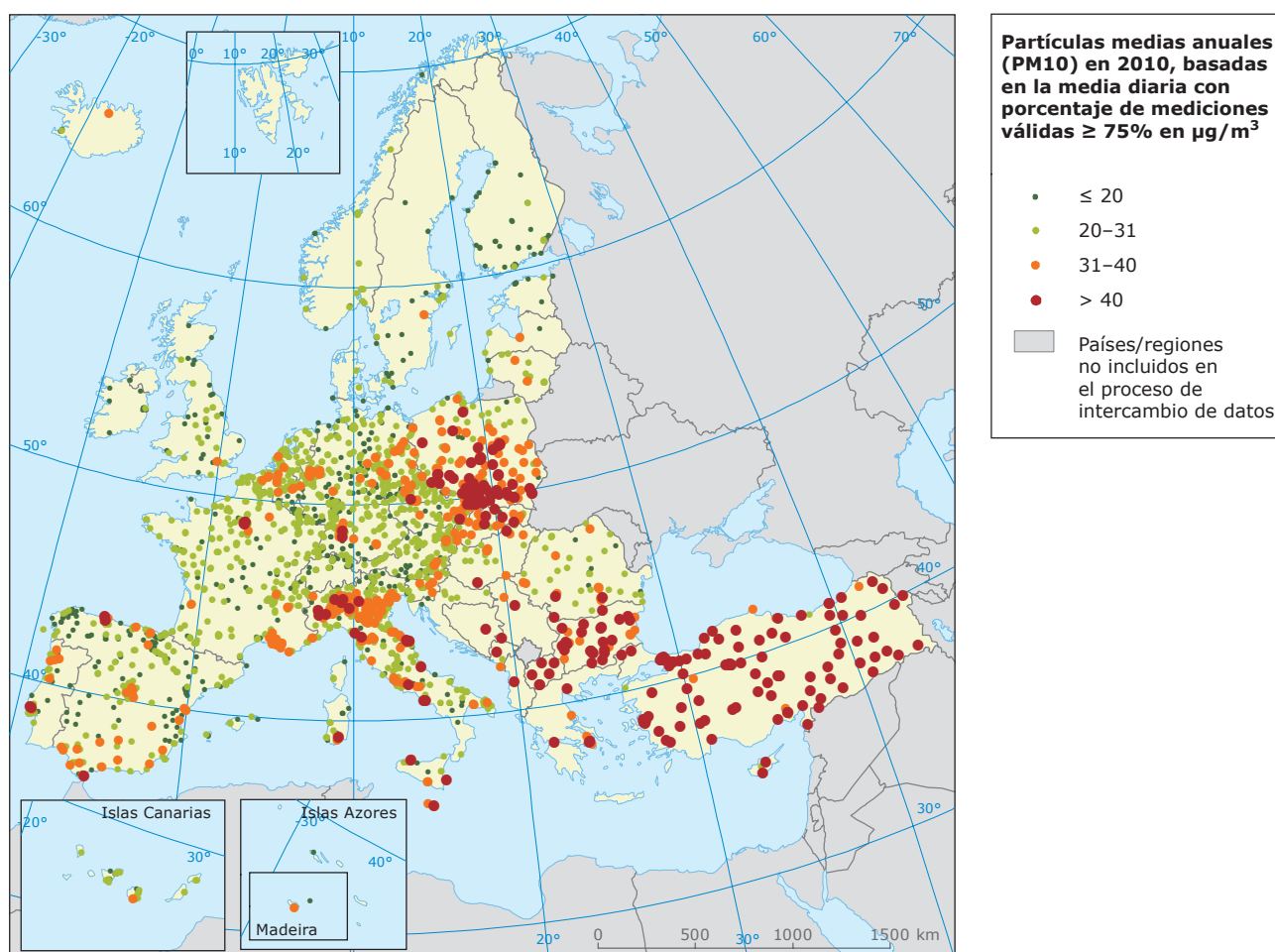
Tabla 2.2. Directrices de calidad del aire de la OMS

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media en 24h	Media anual
$PM_{2,5}$	25	10
PM_{10}	50	20

Fuente: OMS, 2006

“Las AQG de 2005 establecieron por primera vez un valor de referencia para PM. El objetivo es lograr las concentraciones más bajas posibles. Como no se ha identificado ningún umbral de PM por debajo del cual no haya daños a la salud, el valor recomendado debe representar un objetivo aceptable y alcanzable para

Mapa 2.1. Concentraciones medias anuales de PM_{10} en 2010



Nota: Los puntos rojos indican estaciones que notificaron casos de superación del valor límite anual de 2005 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), según establece la Directiva de Calidad del Aire (UE, 2008c).

Los puntos de color naranja indican estaciones que notificaron casos de superación de un nivel estadísticamente derivado ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que corresponde al valor límite de 24 horas, según establece la Directiva de Calidad del Aire (UE, 2008c).

Los puntos verde pálido indican estaciones que notificaron casos de superación de la directriz sobre calidad del aire de la OMS para PM_{10} de menos de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero que no superaron los valores límite establecidos en la Directiva de Calidad del Aire (UE, 2008c).

Los puntos verde oscuro indican estaciones que notificaron concentraciones por debajo de la directriz sobre calidad del aire de la OMS para PM_{10} e implícitamente por debajo de los valores límite establecidos en la Directiva de Calidad del Aire (UE, 2008c).

Fuente: AirBase v.6.

minimizar los efectos en la salud en el contexto de las limitaciones, capacidades y prioridades locales de salud pública”.

2.3. Encuesta europea sobre PM

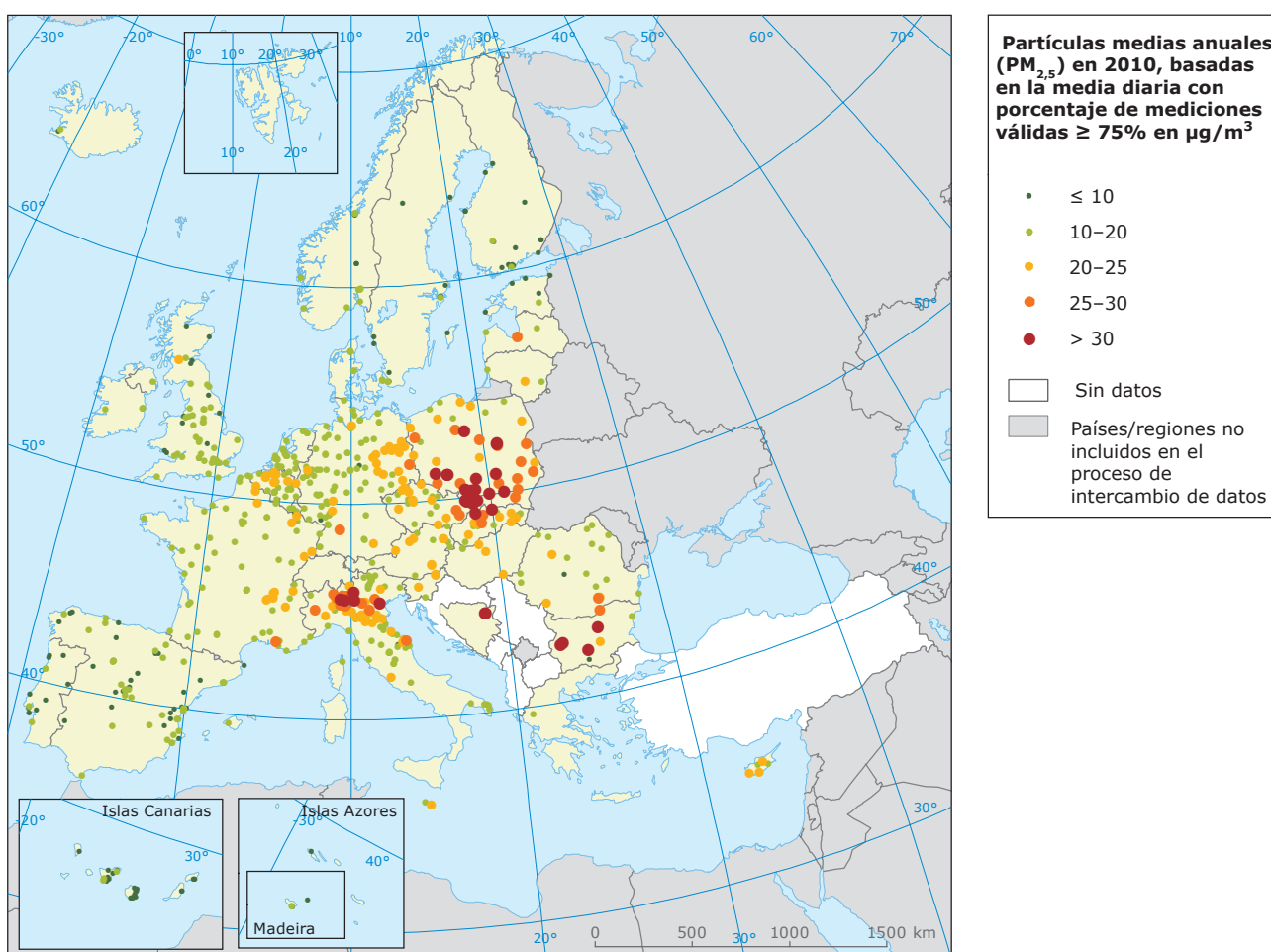
2.3.1. Superación de los valores límite y objetivo

Los valores límite de la UE (aplicables a partir de 2005) y el valor objetivo (aplicable a partir de 2010) para las PM se superaron ampliamente en Europa en 2010 como muestran los datos de la base de datos de calidad del

aire Europea, AirBase (véase el Anexo 1), y el Mapa 2.1, Mapa 2.2 y la Figura 2.2.

El valor límite anual de PM₁₀ (aplicable a partir de 2005) se ha superado con mayor frecuencia (puntos rojos en el Mapa 2.1) en Polonia, Italia, Eslovaquia, la región de los Balcanes, Turquía y varias regiones urbanas. El valor límite diario (también aplicable a partir de 2005) fue superado (puntos naranja en el Mapa 2.1) en otras ciudades de esos países, así como en muchos otros países de Europa central y occidental. Algunas ciudades en Letonia, Lituania y Suecia también superaron el valor límite diario. En el Reino Unido, los casos de superación del valor límite diario se registraron pero sólo en Londres.

Mapa 2.2. Concentraciones medias anuales de PM_{2,5} en 2010



Nota: Los puntos rojos indican estaciones que notificaron casos de superación del valor límite anual de 2010 (25 µg/m³), por lo menos en una cantidad de 5 µg/m³

Los puntos de color naranja oscuro indican estaciones que notificaron casos de superación del valor objetivo anual de 2010 (25 µg/m³), según establece la Directiva sobre calidad del aire (UE, 2008c).

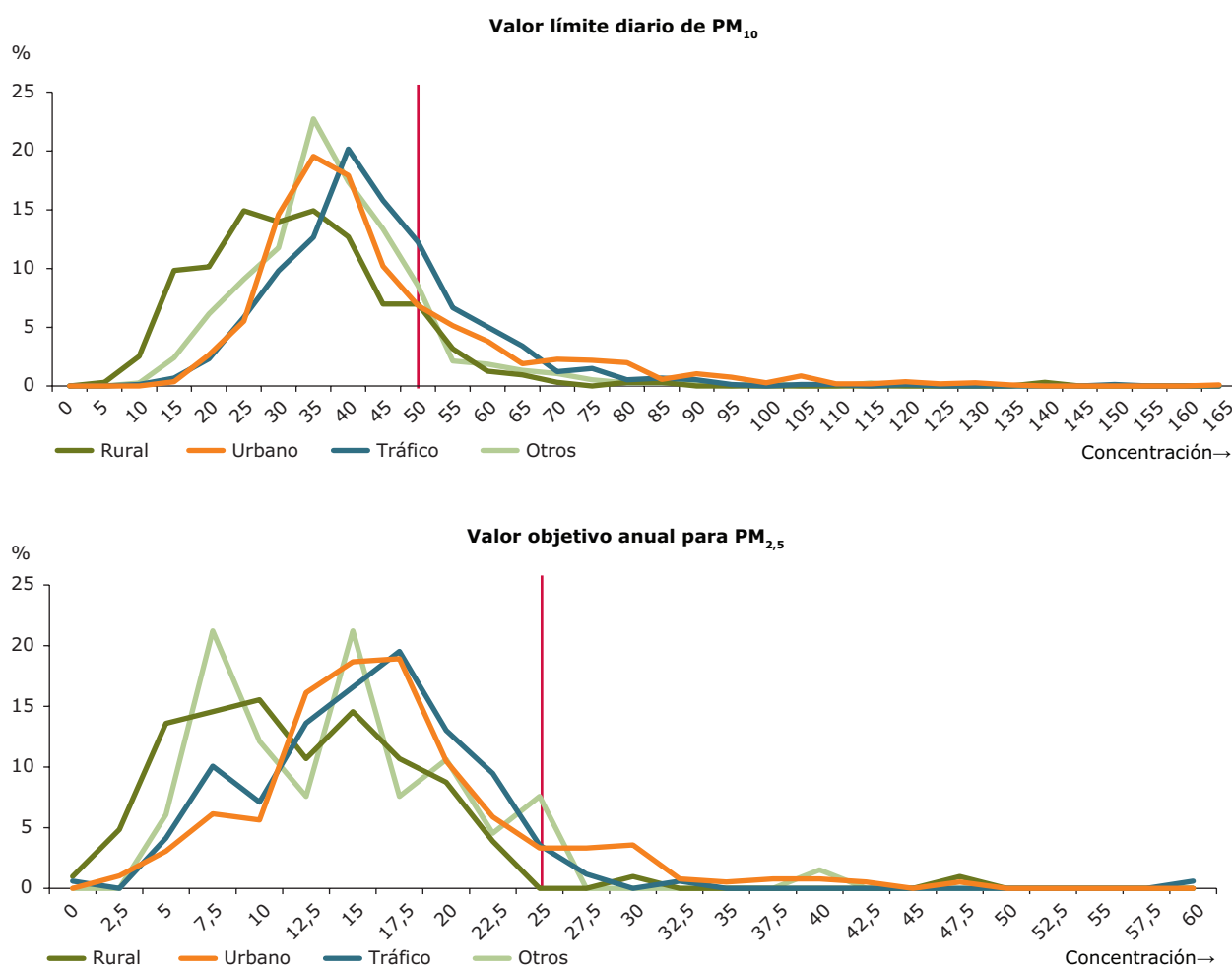
Los puntos de color naranja indican estaciones que notificaron casos de superación del valor límite anual de 2020 (20 µg/m³), según establece la Directiva sobre calidad del aire (UE, 2008c).

Los puntos verde pálido indican estaciones que notificaron casos de superación de la directriz sobre calidad del aire de la OMS para PM_{2,5} de menos de 10 µg/m³, pero que no superaron los valores objetivo o límite establecidos para PM_{2,5}, según establece la Directiva de Calidad del Aire (UE, 2008c)

Los puntos verde oscuro indican estaciones que notificaron concentraciones por debajo de la directriz sobre calidad del aire de la OMS para PM_{2,5} e implícitamente por debajo de los valores objetivo y límite establecidos para PM_{2,5} en la Directiva de Calidad del Aire (UE, 2008c).

Fuente: AirBase v.6.

Figura 2.2. Gráficos de distancia al objetivo para el valor límite diario de PM_{10} (arriba) y para el valor objetivo anual de $PM_{2,5}$ (abajo), 2010



Nota: Los gráficos muestran la distribución de frecuencia porcentual (en el eje y) en los Estados Miembros de la UE frente a las diferentes clases de concentración (en el eje x, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Fuente: Airbase v.6.

Hay más estaciones de seguimiento que miden PM_{10} que de $PM_{2,5}$. Para $PM_{2,5}$ en 2010 había 754 estaciones que cumplían el criterio de cubrir más del 75% de los datos. (La cobertura de los datos proporciona la fracción del año para la que existen datos válidos de concentración en cada localización). En comparación con 2009, 150 estaciones adicionales midían $PM_{2,5}$ en 2010. Las concentraciones de $PM_{2,5}$ fueron significativamente mayores que el valor objetivo anual para 2010 (puntos rojos y naranjas en el Mapa 2.2) en varias estaciones en Bulgaria, la República Checa, Italia, Polonia y Eslovaquia, y en varias estaciones de otros países. El valor más estricto de las directrices de la OMS para la media anual de PM se excedió (puntos verde pálido, amarillo, naranja y rojo en el Mapa 2.1 y Mapa 2.2) en la mayoría de las estaciones de seguimiento en todo el continente europeo, pero con menor frecuencia en los países nórdicos.

2.3.2. Nivel de PM de fondo rural y PM secundarias a partir de gases precursores

La concentración de fondo rural de PM representa la concentración de PM en las zonas rurales. Las contribuciones de las emisiones urbanas se basan en el nivel de fondo rural para producir las concentraciones que se producen en las zonas urbanas (en general se denominan concentraciones de fondo urbano). Los esfuerzos de control locales pueden reducir las adiciones urbanas, pero tendrán efectos limitados sobre el nivel de fondo rural.

Las partículas se emiten, por un lado, directamente a la atmósfera y, por otro, se forman en la atmósfera.

La formación depende de una variedad de factores químicos y físicos:

- 1) las concentraciones de los principales precursores;
- 2) la reactividad de la atmósfera (véase el Recuadro 2.1), que depende de las concentraciones de sustancias altamente reactivas como el O_3 y el radical hidroxilo (llamado radical, ya que contiene un electrón no apareado);
- 3) las condiciones meteorológicas, como la radiación solar, la humedad relativa y la nubosidad.

Debido a la interacción y la variabilidad de los factores anteriores, es difícil relacionar las concentraciones de sustancias que se forman, presentes en las PM ambiente, con las emisiones de gases precursores.

El nivel de concentración de fondo rural de PM constituye una parte sustancial de las concentraciones de PM medidas en las ciudades. Las concentraciones rurales varían en toda Europa. Las más altas medidas por la red EMEP ⁽⁷⁾ en 2009 fueron en los Países Bajos, Hungría e Italia, con las más bajas en los países nórdicos y el Reino Unido (EMEP, 2011). Además de las emisiones de partículas primarias (naturales y

antropogénicas), las concentraciones de PM rurales están determinadas por las contribuciones de partículas secundarias, tanto aerosoles inorgánicos secundarios (SIA) como aerosoles orgánicos secundarios (SOA). Estos últimos se forman, en parte, por gases orgánicos emitidos por fuentes antropogénicas y fuentes naturales relacionadas principalmente con la vegetación terrestre.

La contribución de los SIA y SOA varía considerablemente en toda Europa y con las estaciones. La contribución de los SIA es mayor en invierno, debido al aumento de las emisiones procedentes de la combustión en la estación fría, y la contribución de los SOA es generalmente más alta en verano, cuando las emisiones de la vegetación terrestre son más grandes, aumentando de la parte norte a la parte sur del continente.

2.3.3. Distancia al objetivo

Para indicar la "distancia al objetivo" para el cumplimiento de los valores límite de la UE y el valor objetivo de PM, la Figura 2.2 muestra la magnitud de los casos de superación en 2010 del valor límite de 24 horas para PM_{10} (a cumplirse desde 2005) y del valor objetivo para $PM_{2,5}$ (que debe cumplirse desde 2010)

Recuadro 2.1 La química de la formación de PM

PM inorgánicas

En Europa, alrededor de un tercio de la concentración de PM_{10} y la mitad de la concentración de $PM_{2,5}$ en el fondo regional está compuesto de sustancias químicas inorgánicas, como el amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) y sulfato (SO_4^{2-}). Estas sustancias son el resultado de reacciones químicas en la atmósfera que conllevan gases precursores de PM: NH_3 , NO_x y SO_x .

Las reacciones que forman el sulfato implican la fase gaseosa de conversión del SO_2 en ácido sulfúrico y la fase acuosa de reacciones químicas que pueden ocurrir en las nubes y en las gotas de niebla o en las películas líquidas en partículas atmosféricas. La tasa de algunas de estas reacciones se ve reforzada por la presencia de metales, por ejemplo, Fe y Mn.

La proporción de NO_2 en NO_x puede convertirse en ácido nítrico durante el día. Por la noche, los NO_x se oxidan principalmente en ácido nítrico mediante una secuencia de reacciones iniciadas por el O_3 .

Por lo tanto, los ácidos sulfúrico y nítrico así formados reaccionan con el NH_3 y forman nitrato de amonio (NH_4NO_3) y sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$). Además, el ácido nítrico puede reaccionar con sustancias químicas en partículas gruesas y proporcionar nitrato adicional a la fracción de partículas gruesas.

PM orgánicas

Las sustancias orgánicas contribuyen de media aproximadamente al 30% de las concentraciones de $PM_{2,5}$ y al 20% de las concentraciones de PM_{10} en el fondo regional europeo. Las PM orgánicas se componen de cientos de sustancias químicas individuales. Algunas de las sustancias orgánicas son semi-volátiles, de tal manera que su presencia puede ser tanto como gases y como material condensado en las PM. Su presencia complica el proceso de muestreo. Por consiguiente, es difícil obtener información química completa de las sustancias orgánicas.

Las reacciones atmosféricas en la fase de gas, niebla y gotas de las nubes, así como partículas acuosas, implican una variedad de COV, como alcanos, olefinas, aromáticos, y compuestos orgánicos como el isopreno y los terpenos emitidos por la vegetación, y que conducen a la formación de productos finales orgánicos.

Los compuestos orgánicos volátiles reaccionan con radicales de hidroxilo, O_3 y otras sustancias en numerosas reacciones químicas relacionadas entre sí para formar un gran conjunto de compuestos orgánicos. Existe una clara relación entre los episodios de O_3 y la formación de PM orgánicas.

(7) La red de estaciones de EMEP (Observatorio Europeo y el Programa de Evaluación) proporciona a las partes del convenio LRTAP la información sobre la concentración y las tasas de deposición de contaminantes atmosféricos transportados a través de Europa y que alcanzan emplazamientos de seguimiento de fondo rural.

en la UE. El presente análisis se basa en mediciones en puntos de muestreo fijos y no tiene en cuenta el hecho de que la Directiva de Calidad del aire (UE, 2008c) ofrece a los Estados miembros de la UE la posibilidad de restar la contribución de las fuentes naturales ⁽⁸⁾ y el vertido invernal de arena/sal en las carreteras cuando se excedan los límites (AEMA, 2012D).

Los puntos fijos de muestreo en Europa se sitúan en cuatro tipos de emplazamientos:

- localizaciones relacionadas con el tráfico;
- localizaciones urbanas (y de fondo sub-urbano) (sin tráfico);
- localizaciones industriales (u otras menos definidas);
- emplazamientos de fondo rural.

En 2010, el valor límite de PM_{10} en 24 horas, que debería cumplirse para el año 2005 se superó en 33% de las emplazamientos de tráfico, el 29% de las localizaciones de las zonas urbanas, el 17% de "otros" sitios (sobre todo industrial) e incluso en el 14% de los emplazamientos rurales dentro de la UE. El porcentaje de estaciones de fondo rural que superaron los límites se han más que duplicado de 2009 a 2010. Se ha observado el aumento de las concentraciones de PM debidas a la erupción del volcán Eyjafjallajökull en Islandia en abril y mayo de 2010; en algunos casos, esto podría haber contribuido a los casos de superación. Las mayores concentraciones de PM_{10} registradas en 2010 fueron excepcionalmente alta, por encima de $2.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Islandia.

El valor límite diario de PM_{10} que debía cumplirse antes de 2005 es más estricto que el valor límite anual y se supera con más frecuencia. La Figura 2.3 muestra los casos de superación del valor límite diario de PM_{10} en 2010, 2005 y 2001 para todos los Estados miembros de la UE. Claramente indica que los casos de superación del valor límite diario se observaron en 23 países de la UE en una o más estaciones en 2010, sólo Dinamarca, Finlandia, Irlanda y Luxemburgo no registraron casos de superación. El único país, con datos de concentración de PM_{10} para 2001, 2005 y 2010, que no registró una superación del valor límite diario de PM_{10} en cualquiera de estos años, fue Irlanda. La figura también muestra que ha habido una mejora en el número de casos de superación del valor límite diario de PM_{10} en los últimos años en el Reino Unido, Suecia, España, Portugal, los Países Bajos, Bélgica, Italia y

Grecia, y un claro incremento en Polonia y Bulgaria, de 2001 a 2005 y más allá de 2010.

La Figura 2.4 muestra comportamientos similares de los valores medios anuales de $PM_{2,5}$ en 2010, 2005 y 2001 en los Estados miembros de la UE. Esto demuestra que los casos de superación del valor objetivo para $PM_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que deben cumplirse antes de 2010, se observaron en 2010 en nueve Estados miembros de la UE en una o más estaciones. El único país con datos de $PM_{2,5}$ correspondientes a 2001, 2005 y 2010 que no registró una superación del valor objetivo para $PM_{2,5}$ en cualquiera de los tres años fue Finlandia.

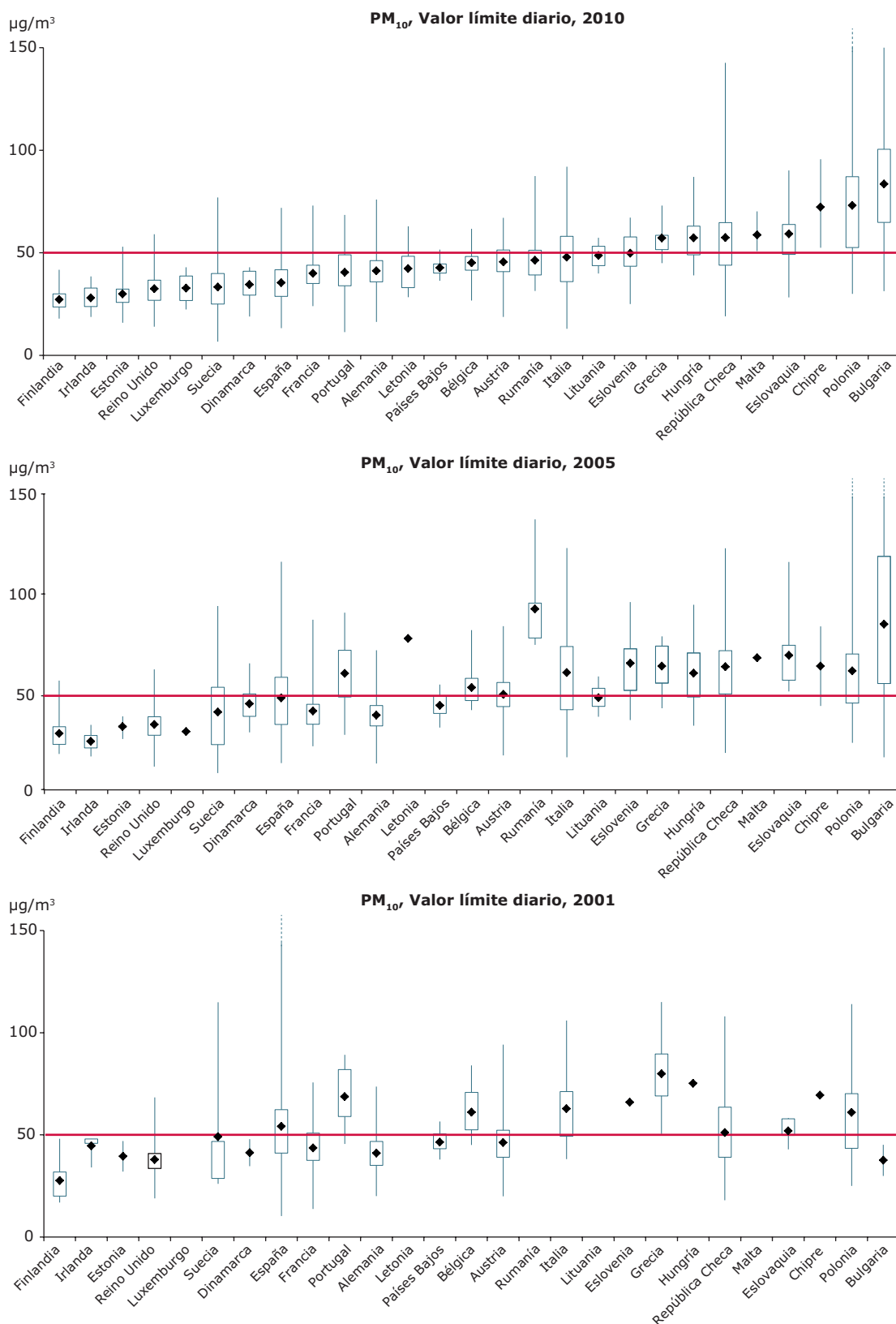
El valor objetivo $PM_{2,5}$ se superó en el 6% de las localizaciones de tráfico, el 14% de los emplazamientos de fondo urbano, el 9% de "otros" (sobre todo industriales) emplazamientos y en el 2% de los emplazamientos rurales. Algunos emplazamientos particulares en la República Checa y Polonia registraron concentraciones medias anuales de $PM_{2,5}$ cercanas o superiores al doble del valor objetivo. Una estación de fondo rural en Islandia registró una concentración media anual de casi cuatro veces mayor que el valor objetivo, atribuida a la erupción del volcán Eyjafjallajökull.

Estos hallazgos demuestran que las concentraciones de PM deben reducirse sustancialmente en amplias zonas de Europa (especialmente en localizaciones de tráfico y urbanas) para cumplir con los valores límite y objetivo.

En cuanto a la notificación de eventos naturales que hubieran causado casos de superación de los valores límite de PM, la AEMA presentó una evaluación de la notificación que los Estados miembros hacen de la contaminación del aire natural conforme a la Directiva de Calidad del aire (AEMA, 2012d). Diez Estados miembros de la UE notificaron casos de superación de los valores límite de PM_{10} anuales y diarios debido a eventos naturales en 2008, y ocho Estados miembros de la UE lo hicieron también en 2009. El evento natural dominante responsable de los casos de superación del valor límite diario de PM_{10} fue el movimiento de partículas naturales procedentes de regiones áridas fuera del Estado miembro. Las aportaciones medias anuales de fuentes naturales a los niveles de PM_{10} varió desde $1-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Italia, Francia, Grecia y Portugal, a $4-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en España y el Reino Unido, y $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Chipre en 2008. En 2009, las aportaciones medias fueron inferiores en España ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mayores en Grecia ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y similares en Chipre. El análisis de los datos de 2010 no se ha completado antes de la publicación de este informe.

⁽⁸⁾ Ejemplos de fuentes naturales que la Directiva permite restar son: erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas, incendios de zonas silvestres, eventos de fuertes vientos o resuspensión atmosférica, o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas y rocío del mar.

Figura 2.3. Situación alcanzada con respecto a las PM₁₀, años de referencia 2010, 2005, 2001

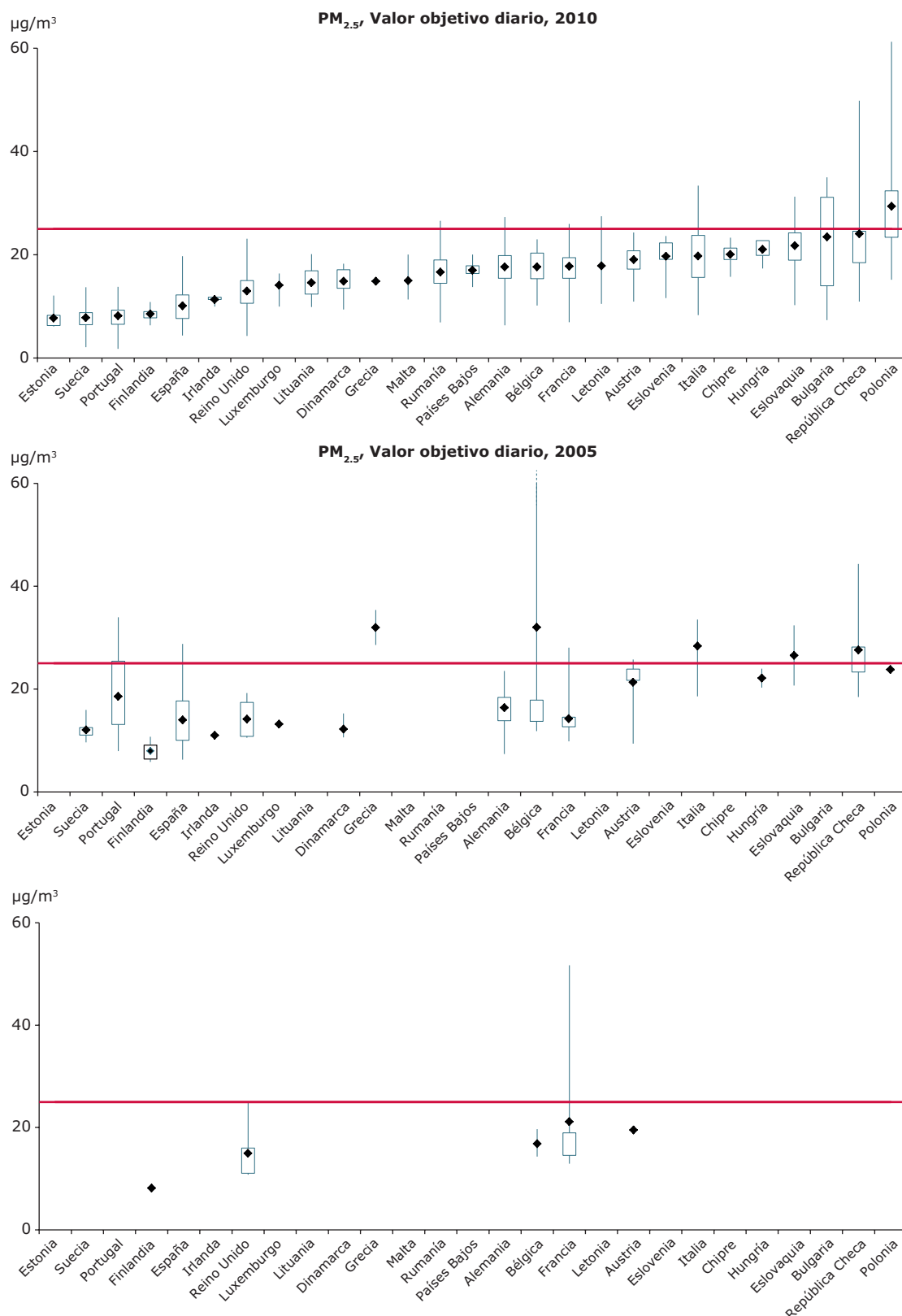


Nota: Los gráficos se basan en el percentil 90,4 de los valores diarios de la concentración media correspondiente a la 36ª media diaria más alta; presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en µg/m³) notificado oficialmente por los Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor límite establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).

El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior divide el 25% más bajo de los datos y el cuartil superior divide el 25% más alto de los datos.

Fuente: CTE/ACM

Figura 2.4. Situación alcanzada con respecto a las PM_{2,5r} años de referencia 2010, 2005, 2001



Nota: Los gráficos se basan en los valores anuales de la concentración media; presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en µg/m³) notificado oficialmente por los Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor objetivo establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).
El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior divide el 25% más bajo de los datos y el cuartil superior divide el 25% más alto de los datos.

Fuente: CTE/ACM

2.3.4. Tendencias en las concentraciones de PM

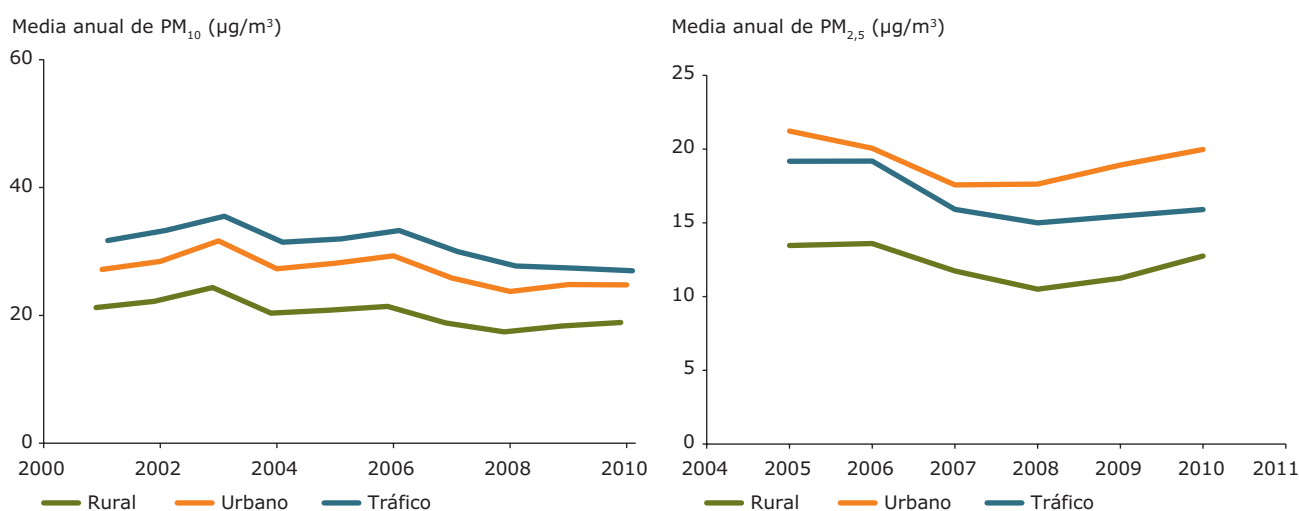
El cambio medio en las concentraciones medias anuales de PM₁₀ desde el año 2001 se presenta en la Figura 2.5, para el tráfico, estaciones de fondo urbano y rural. Las estaciones de tráfico registraron una disminución constante de los niveles medios desde 2006, mientras que las estaciones urbanas no de tráfico registraron un aumento en 2009, estabilizándose en 2010. Las estaciones rurales registraron un aumento medio en 2009 y 2010. El Mapa 2.3 muestra los cambios medios en las concentraciones medias anuales de PM₁₀ entre 2001 y 2010 (de Leeuw, 2012) ⁽⁹⁾. La mayoría de las estaciones que registraron una tendencia ⁽¹⁰⁾ registraron concentraciones medias anuales de PM₁₀ decrecientes en más de 1 µg/m³ por año durante este período. Sólo el 2% de las estaciones registraron una tendencia positiva (es decir, concentraciones crecientes) entre 2001 y 2010 ⁽¹¹⁾. El número de estaciones de PM_{2,5} operativas a lo largo de los últimos seis años es todavía limitada. Las concentraciones, de media, tendieron a disminuir durante los primeros cuatro años (2005-2008). Un pequeño aumento fue evidente en 2009 y 2010 para todos los tipos de estaciones (Figura 2.5). Los datos disponibles para PM_{2,5} son demasiado limitados para extraer conclusiones firmes acerca de las tendencias observadas.

En contraste con los datos y expectativas de PM₁₀, la Figura 2,5 sugiere que la media total de las concentraciones de PM_{2,5} en emplazamientos urbanos no de tráfico superaron las de los emplazamientos de tráfico. Las diferencias en la distribución espacial de las estaciones urbanas y de tráfico en Europa han influido en las tendencias globales. Esta es una indicación adicional de que el conjunto de estaciones de PM_{2,5} no es suficientemente representativo actualmente para respaldar un análisis de tendencias.

Emisiones de PM primarias y gases precursores

Al explicar las tendencias en las concentraciones de PM en el aire, se deben tener en cuenta las tendencias de emisión tanto de PM primarias y gases precursores. Además de las emisiones, la meteorología juega un papel importante. Una fracción de los gases precursores emitidos forma partículas en el aire, dependiendo de las condiciones atmosféricas (temperatura, luz del sol, humedad, velocidad de reacción). Las condiciones de dispersión y atmosféricas difieren de un año a otro. Esta diferencia no se ha ajustado en este análisis.

Figura 2.5. Tendencias en concentraciones de PM₁₀ (izquierda, 2001-2010) y PM_{2,5} (derecha, 2005-2010) por tipo de estación



Nota: Se incluyeron en el análisis todas las estaciones en los Estados miembros, con al menos un 75% de cobertura de datos durante al menos ocho años (PM₁₀) o seis años (PM_{2,5}). Las concentraciones por tipo de estación se dan en µg/m³. Existe un sesgo geográfico hacia el centro de Europa en los diagramas, donde hay una mayor densidad de estaciones.

En 2006, Francia introdujo un sistema de alcance nacional para corregir las mediciones de PM₁₀. Los datos franceses de PM₁₀ anteriores a 2007 se han corregido mediante factores dependientes de tipo de estación (de Leeuw y Fiala, 2009).

Fuente: CTE/ACM

⁽⁹⁾ Se utilizó un conjunto coherente de 858 estaciones con datos de 2001 a 2010 en el análisis de tendencias. De éstos, 449 estaciones registraron una tendencia (es decir, una tendencia significativa, mediante la prueba de Mann-Kendall). Los 409 estaciones restantes no tenían una tendencia significativa.

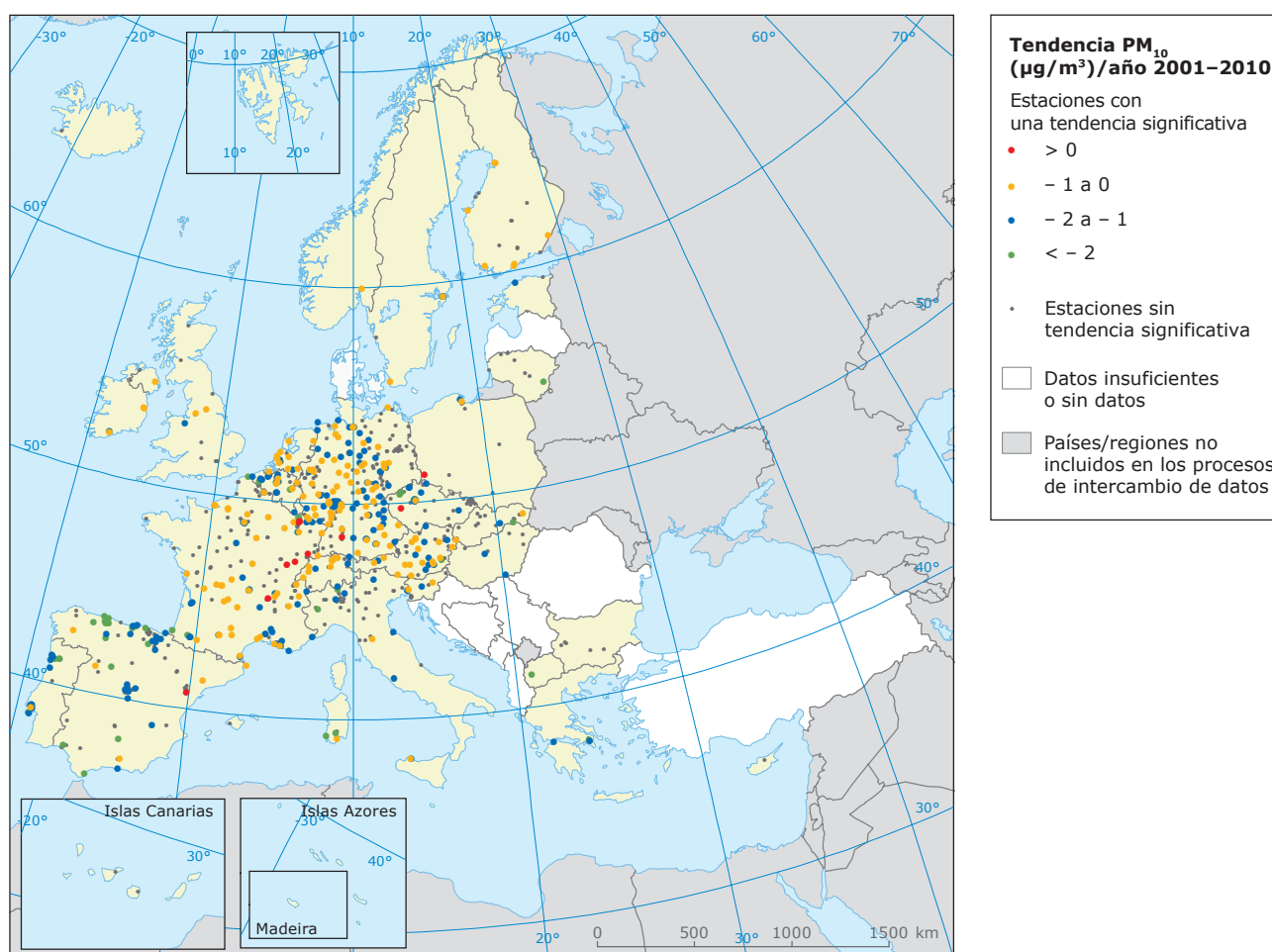
⁽¹⁰⁾ 244 estaciones, que es el equivalente del 54% de las estaciones con una tendencia.

⁽¹¹⁾ El 2% es equivalente a diez estaciones.

El inventario europeo de emisiones de PM primarias está casi completo, con la excepción de emisiones diferentes a las de gases de escape (desgaste de neumáticos y carretera) que no han sido plenamente notificadas por todos los países. Las emisiones primarias naturales de PM (principalmente sal marina y polvo del suelo suspendido naturalmente, incluyendo polvo del desierto) no forman parte de este inventario. El inventario de emisiones de la UE para el período 1990-2010 fue publicado por la AEMA (2012a).

Las emisiones de PM primarias disminuyeron en la UE un 14% para las PM_{10} y un 15% para las $PM_{2,5}$ entre 2001 y 2010 (Figura 2.6). Las reducciones en el mismo período en los países miembros de la AEMA-32 fueron similares a las de la UE para PM_{10} y $PM_{2,5}$. Las emisiones de los gases precursores SO_x y NO_x se redujeron un 54% y 26%, respectivamente, en el período de 2001 a 2010 en la UE, y un 44% y 23% en los países de la AEMA-32. Las emisiones comunitarias de NH_3 , otro gas precursor, han disminuido menos: sólo un 10% entre 2001 y 2010.

Mapa 2.3. Variaciones anuales en las concentraciones de PM_{10} en el periodo 2001-2010

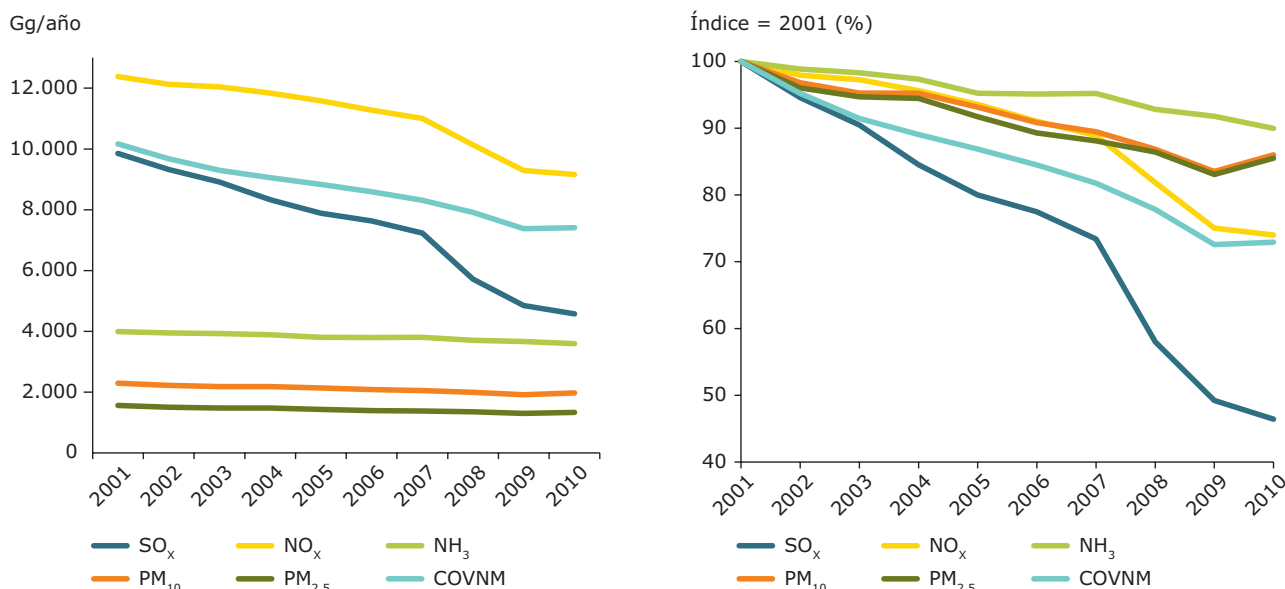


Nota: Los datos presentados se obtuvieron a partir de un conjunto coherente de estaciones en todos los años. En 2006, Francia introdujo un sistema de alcance nacional para corregir las mediciones de PM_{10} . Los datos franceses de PM_{10} anteriores a 2007 se han corregido mediante factores dependientes de tipo estación (de Leeuw y Fiala, 2009).

Se calculan tendencias estadísticamente significativas (nivel de importancia 0,1) aplicando el test de Mann-Kendall. Las pendientes de tendencia se indican con puntos de color cuando son estadísticamente significativas. Los puntos rojos indican las concentraciones cada vez mayores. El método aplicado se describe en de Leeuw, 2012.

Fuente: de Leeuw, 2012.

Figura 2.6. Emisiones de PM primarias y de gases precursores de PM y O₃ en la UE sin incluir el monóxido de carbono (a), 2001-2010



Nota: (a) Las emisiones de CO₂, un precursor de O₃, se muestran en la Figura 6.4.

Fuente: AEMA - Visor de datos de emisiones de contaminantes atmosféricos (Convenio LRTAP).

Los datos de emisión presentados por los Estados miembros de la UE en relación con la Directiva 2001/81/CE (AEMA, 2012a) indican que 12 países de la UE⁽¹²⁾ han excedido sus techos de emisión de NO_x. Los mismos datos también indican que Alemania y España han superado sus techos de emisiones de COVNM, y Finlandia y España han superado sus techos máximos de emisión de NH₃, según establece la Directiva 2001/81/CE que debe cumplirse en 2010. Por otra parte, todos los países han alcanzado sus límites de emisión de SO₂.

Los gases precursores orgánicos de aerosoles orgánicos secundarios (SOA) están dominados por las emisiones

naturales orgánicas, pero también incluyen un componente antropogénico. Las emisiones naturales de COV no están incluidas en los inventarios de emisiones actuales.

Dependiendo en parte de las condiciones atmosféricas, los SIA contribuyen, de media, cerca de un tercio de la masa de PM₁₀ en el aire rural de Europa central (EMEP, 2011). Representan un porcentaje menor de PM en el aire urbano ya que las emisiones locales de partículas primarias se suman a las concentraciones en masa de las PM rurales.

⁽¹²⁾ Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Luxemburgo, Malta, los Países Bajos y Suecia.

Producción sectorial de las PM primarias y gases precursores

Diversos sectores fuente contribuyen a las PM antropogénicas primarias y gases precursores (Figura 2.7). La combustión de combustibles comerciales, institucionales y domésticos domina las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} primarias y ha aumentado desde 2001.

El segundo sector más importante de emisiones de PM₁₀ primarias es la industria, seguido del transporte. Para PM_{2,5} ambos sectores han tenido emisiones similares, pero desde 2009 el sector del transporte ha superado las emisiones del sector industrial. Las emisiones distintas de los gases de escape del tráfico por carretera, que no se incluyen en la Figura 2.7, se suman a la contribución de emisiones totales de tráfico por carretera. Se estima que las emisiones distintas de los gases de escape son aproximadamente el 50% de las emisiones de gases de escape de PM₁₀ primarias y aproximadamente el 22% de las emisiones de gases de escape de PM_{2,5} primarias (Hak *et al.*, 2009). El sector del transporte es sin duda el que más contribuye a las emisiones de NO_x, mientras que la producción de energía y la industria dominan las emisiones de SO_x. El sector agrícola fue responsable del 94% del total de las emisiones de NH₃ en la UE en 2010 y sólo ha disminuido sus emisiones de NH₃ en un 10% entre 2001 y 2010. Las políticas europeas han reducido las emisiones de ciertos gases precursores de PM de forma significativa. Se estima que las actuales políticas europeas redujeron las emisiones de NO_x de los vehículos de carretera en un 55% y de las plantas industriales en un 68% en el período 1990-2005, en comparación con una situación hipotética sin directivas vigentes. La reducción inducida por la política de las emisiones de SO_x del sector industrial se estima en 70% en el mismo período (AEMA, 2010b). Estas fuentes también dominan el total de las emisiones de NO_x y SO_x (Figura 2.7).

Relación de las emisiones con las concentraciones de PM ambiente

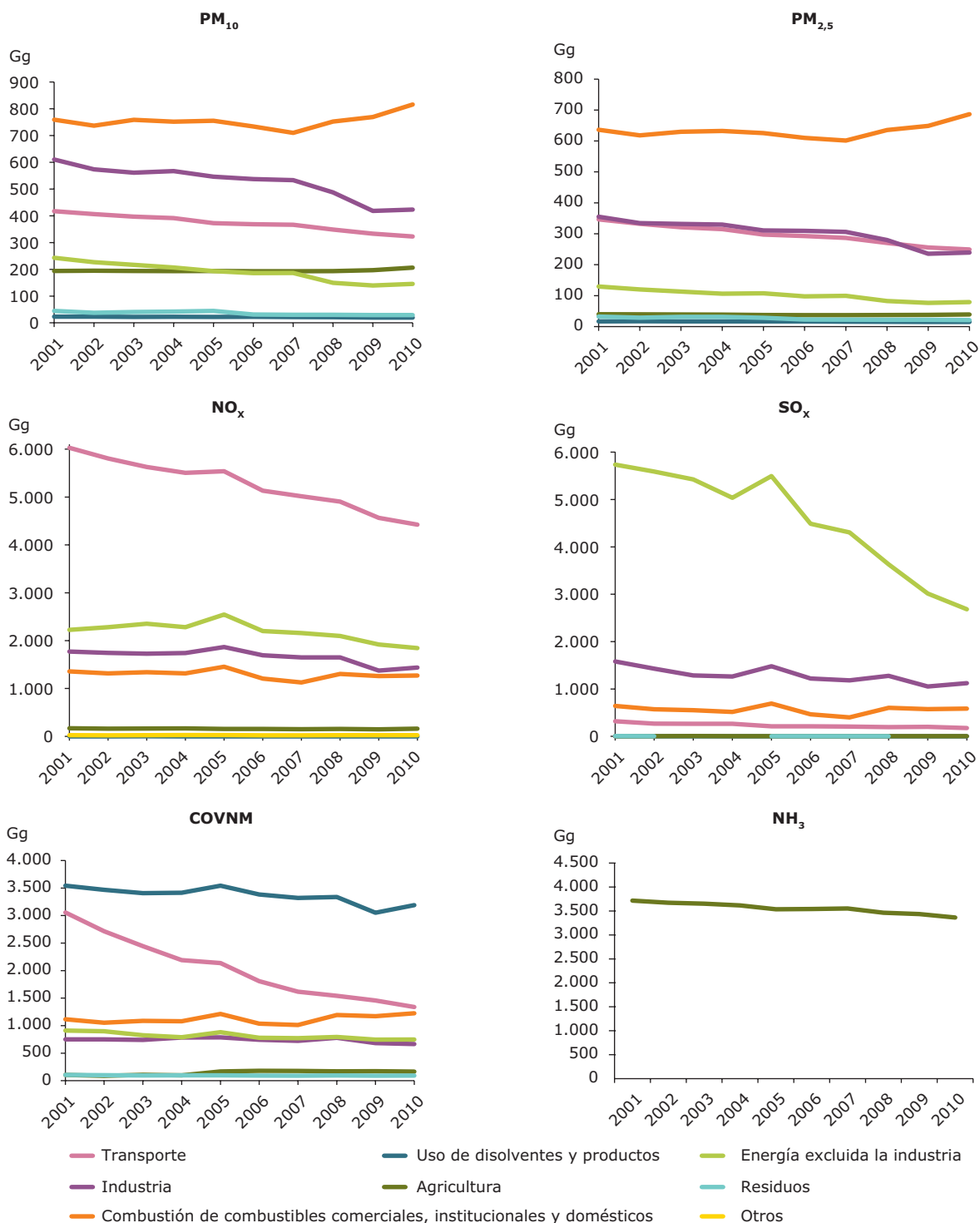
Las emisiones de PM primarias procedentes de la combustión de combustible comercial, institucional y de los hogares han aumentado desde 2007 (Figura 2.7), lo que significa que el sector sigue sosteniendo las concentraciones de PM en zonas tanto rurales como urbanas, a pesar de las reducciones de emisiones en otros sectores. En contraste, la disminución de las emisiones primarias de PM del transporte tiende a compensar ese aumento, especialmente en las zonas urbanas.

Las reducciones en las emisiones de los precursores de PM, NO_x y SO_x eran mucho mayores que las reducciones de PM primarias de 2001 a 2010. Mientras tanto, la reducción de las emisiones de NH₃ en la UE fue pequeña (aproximadamente 10%) entre 2001 y 2010. Según Erisman y Schaap (2004) las concentraciones de los SIA (que representan aproximadamente la mitad de la masa de PM_{2,5}) sólo se pueden reducir eficazmente si los tres gases precursores NO_x, SO_x y NH₃ se reducen en la misma medida. De acuerdo con la información de emisiones presentada anteriormente, éste no ha sido el caso en Europa en la década pasada.

Las pequeñas reducciones observadas en las concentraciones de PM₁₀ ambiente durante el período 2001-2010 (Figura 2.5) sólo reflejan parcialmente las emisiones menores de PM primaria y gases precursores. Se espera que las emisiones de PM primarias y agrícolas de NH₃, que disminuyen lentamente, contribuyan a una concentración PM₁₀ de base que también disminuye lentamente. Además, y como se explica en la Sección 1.3.4, el transporte intercontinental de PM y sus gases precursores también pueden influir en los niveles ambientales europeos.

Un número de estudios han identificado y cuantificado las contribuciones de varias fuentes a las concentraciones de PM ambiente mediante el uso de técnicas de modelado (véase AEMA, 2011c). Un análisis de la AEMA de la distribución de fuentes en las notificaciones presentadas por veinte Estados miembros de la UE para la ampliación del plazo de valores límite de PM₁₀, muestra que la contribución combinada de tráfico urbano y local a los niveles de concentración de PM₁₀ medidas en 29 emplazamientos de tráfico urbano oscila entre el 13% (Duisburg) a 61% (Glasgow) con un promedio de 34%. La contribución del tráfico a los niveles de concentración de PM₁₀ medidos en cinco emplazamientos de fondo urbano se estima en 15%, oscilando entre el 6% (Yorkshire) y al 22% (Brno). Estos hallazgos indican que deben tenerse en cuenta las contribuciones del tráfico a las concentraciones urbanas de PM al aplicar medidas para reducir las concentraciones de PM ambiente.

Figura 2.7. Contribuciones a las emisiones de la UE procedentes de sectores principales (Gg/año = 1.000 toneladas (año) de PM primarias, NO_x, SO₂, COVNM, y NH₃, 2001-2010



Fuente: AEMA – Visor de datos de emisiones de contaminantes atmosféricos (Convenio LRTAP).

2.4. Exposición a la contaminación por PM en Europa

Los datos de control de PM_{10} en AirBase sirven de base para estimar la exposición de la población europea a los casos de superación del valor límite diario de PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que no podrán superarse en más de 35 días por año). Esta estimación se muestra en la Figura 2.8 para el período 2001-2010. La exposición se calcula en base a PM_{10} medidas en todas las estaciones de seguimiento de fondo (no de tráfico). Se calcula una concentración media para cada ciudad. Se considera que toda la población en las ciudades está expuesta a estas concentraciones, ya que la gente se mueve libremente dentro de la ciudad.

En 2010 alrededor del 21% de la población urbana de la UE estaba expuesta a PM_{10} por encima del valor límite. El grado de exposición por encima del valor límite ha variado entre el 18% y el 41% desde 2001 y no hay una tendencia evidente durante este periodo. Para los países de la AEMA-32 la estimación es del 41% en 2010 y la variación fue de entre el 23% y el 41% durante el período 2001-2010. El intervalo refleja en parte las variaciones causadas por la meteorología.

Para $PM_{2.5}$, la Directiva sobre calidad del aire de 2008 (UE, 2008c) presenta un valor objetivo que deberá alcanzarse para el año 2010, que se convertirá en un valor límite a partir de 2015 (Tabla 2.1). Por otra parte, la misma Directiva establece el objetivo nacional de reducción a la exposición para la exposición humana a partir del indicador medio de exposición (IME), establecido a nivel nacional. El IME es el nivel medio medido en las estaciones de seguimiento de fondo urbano (no de tráfico y no industriales) durante

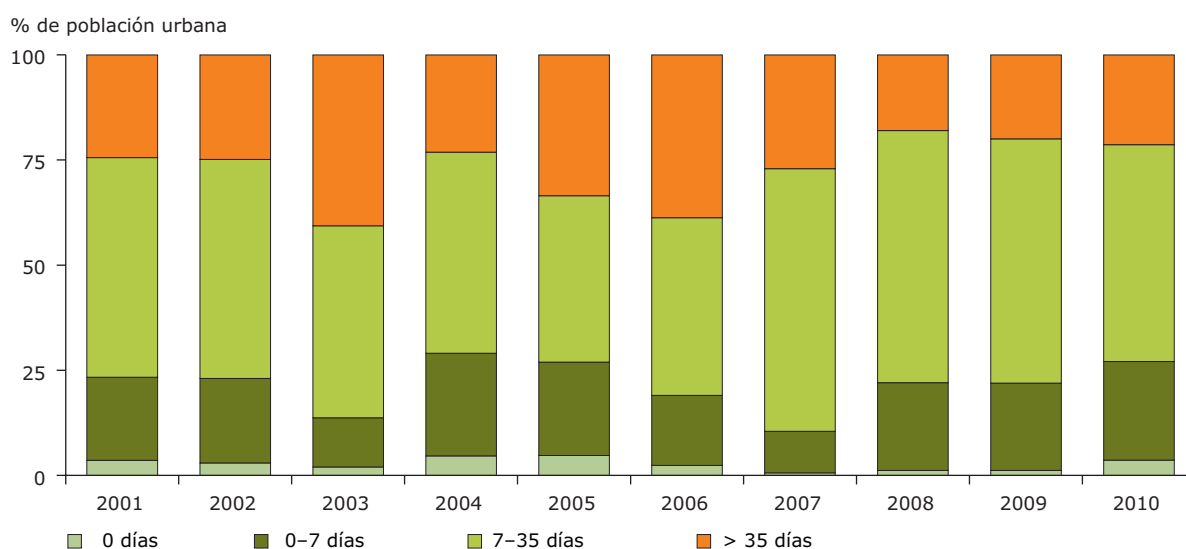
un período de tres años. La Figura 2.9 indica que en al menos siete Estados miembros de la UE las concentraciones medias urbanas en el período 2008-2010 fueron superiores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este es el nivel legalmente vinculante para que esta obligación de concentración de exposición se cumpla en la UE en 2015. Los niveles presentados no se basan en un conjunto estable de estaciones. Para un número de países los resultados se basan en los datos de menos de tres años.

La Tabla ES.1 muestra la fracción de la población urbana de la UE expuesta a concentraciones por encima del valor límite de la UE y el nivel AQG entre 2008 y 2010. Entre el 18 y el 21% de la población urbana está expuesta a concentraciones de PM_{10} que superan el valor límite diario de la UE, mientras que hasta un 81% de la misma población urbana está expuesta a concentraciones superiores al estricto valor de las AQG de la OMS para PM_{10} (Tabla ES.1). También aquí, el intervalo refleja parcialmente las variaciones causadas por la meteorología.

2.5. Respuestas

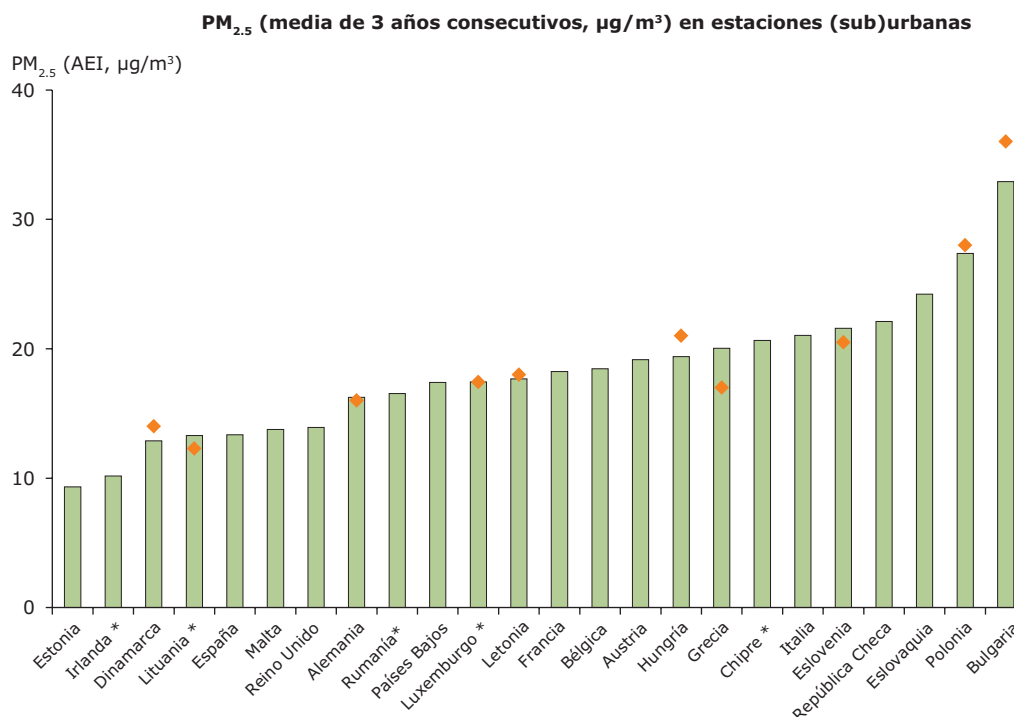
Como las PM primarias y secundarias constituyen una parte significativa de las concentraciones de PM, los esfuerzos europeos para reducir las concentraciones urbanas y rurales deben abordar las emisiones tanto de PM primarias como de gases precursores. Las principales fuentes antropogénicas de estos compuestos son los vehículos en carretera, las instalaciones industriales y la combustión de combustible comercial, institucional y de los hogares. El Anexo 2 contiene más información sobre cada uno de los instrumentos de política que se analizan a continuación.

Figura 2.8. Porcentaje de población residente en zonas urbanas de la UE expuesta a concentraciones de PM_{10} que superan el valor límite diario, 2001-2010



Fuente: AEMA, 2012d (CSI, 2004).

Figura 2.9. Concentraciones urbanas de PM_{2,5} presentadas como media multianual en la UE, 2008-2010



Nota: La media de tres años consecutivos de las concentraciones de PM_{2,5} (2008-2010) es similar al método utilizado para calcular el indicador de exposición media. Los datos recopilados reflejan estaciones urbanas y suburbanas de fondo (no de tráfico y no industriales).

Los resultados para los países marcados con un asterisco se basan en datos de menos de tres años.

Los puntos de color naranja corresponden a las cifras proporcionadas por los Estados miembros de la UE en el cuestionario de calidad del aire.

Fuente: de Leeuw, 2012.

2.5.1. El sector del transporte por carretera

Para el sector del transporte por carretera, las normas Euro regulan las emisiones de gases de escape de CO, NO_x, COVNM y PM primarias. Las emisiones de NO_x y PM son directamente relevantes para las concentraciones de PM en el aire.

Los límites de emisiones de las “normas Euro” para la homologación de los vehículos nuevos son los siguientes:

- para las PM, los límites de emisión Euro 4 (en vigor desde 2005) son un 75% inferiores a los límites de emisión Euro 2 de 1996 para vehículos diésel ligeros (pasajeros) y para vehículos diésel pesados el límite Euro IV de emisión de PM de 2005 es 92% inferior al Euro II (desde 1996);
- para NO_x, los límites de emisión Euro 4 de 2005 son un 50% inferiores a los límites de emisión Euro 3 de 1996 para turismos diésel y 58% menos para vehículos diésel pesados;

- Euro 5 (desde 2009) requiere un descenso adicional sustancial de los límites de emisión, en particular para PM (80% de reducción en comparación con Euro 4 para los vehículos diésel).

Estas reducciones en los límites permisibles de emisión han resultado en importantes descensos de las emisiones de NO_x y PM procedentes de los vehículos en la última década a pesar del gran aumento en el número de vehículos y la actividad total del tráfico durante el mismo período. La disminución de las emisiones del transporte en el período 2001-2010 en la UE fue del 39% para NO_x, 28% para PM₁₀ y 40% para PM_{2,5}. En condiciones de conducción real, las emisiones de los vehículos a menudo superan los límites del ciclo de pruebas especificados en las normas Euro sobre emisiones (AEMA, 2011d). Los datos de emisión de los países se basan en el mejor conocimiento disponible sobre las emisiones reales. Sin embargo, la falta de medidas para los gases de escape de los vehículos, especialmente para los tipos de vehículos de nueva tecnología, a menudo significa que las estimaciones de las emisiones notificadas son relativamente inciertas, y

no siempre reflejan las emisiones de conducción en carretera reales y potencialmente más altas.

Las emisiones distintas de las de los gases de escape de los vehículos como el desgaste de los neumáticos y los frenos, y la abrasión de la carretera, no están actualmente regulados. Corresponden aproximadamente al 60% de las emisiones de gases de escape de PM_{10} y alrededor del 30% de las emisiones de gases de escape de $PM_{2.5}$ en la UE (AEMA, 2010b).

2.5.2. Grandes instalaciones de combustión

Las directivas relacionadas con la industria - la Directiva sobre grandes instalaciones de combustión (GIC) (UE, 2001a) y la Directiva IPPC (UE, 2008b) - han dado como resultado una reducción sustancial de las emisiones procedentes de grandes instalaciones de combustión y de plantas industriales. Ambas Directivas, junto con otras varias directivas sectoriales, han sido sustituidas por la Directiva sobre emisiones industriales (UE, 2010b), pero permanecerán en vigor durante varios años. Aunque los efectos de las directivas relativas a las emisiones de PM no se han evaluado completamente, la AEMA (2010b) estimó que produjeron reducciones en las emisiones de NO_x y SO_x (gases precursores de PM) de aproximadamente el 50% y el 75%, respectivamente, en el período 1990-2005.

2.5.3. Directiva sobre emisiones totales (2001/81/CE)

La Directiva 2001/81/CE (UE, 2001b) incluye límites para las emisiones nacionales totales de los gases acidificantes o eutrofizantes SO_2 , NO_x y NH_3 , que también son precursores de PM. Los techos debían cumplirse en 2010, y los datos de emisión de 2010 comunicados por los Estados miembros de la UE estiman que las emisiones de NO_x superaban el límite máximo en un 10%, mientras que las emisiones de SO_x fueron un 42% inferiores al techo (Anexo II, techos de emisión, en la Directiva 2001/81/CE) y las de NH_3 fueron un 17% inferiores (Anexo I, techo de emisión de la Directiva 2001/81/CE) (AEMA, 2012A).

2.5.4. Planes de calidad del aire

Las directivas de calidad del aire vigentes requieren que se desarrollen los planes de calidad del aire como un instrumento adicional de política y se ponga en práctica en las zonas de gestión de la calidad del aire y aglomeraciones donde las concentraciones ambientales de los contaminantes superan el límite de calidad del aire o valores objetivo correspondientes. Para garantizar la coherencia entre las diferentes políticas, los planes de calidad del aire deben, en lo posible, ser coherentes e integrarse en los planes y programas conforme a las directivas que regulan las emisiones de contaminantes atmosféricos. Los planes de calidad del aire, además, pueden incluir medidas específicas para proteger a los grupos sensibles de la población, incluidos los niños.

3 Ozono (O₃)

3.1. Fuentes y efectos del O₃

3.1.1 Orígenes del O₃ en el aire

El O₃ a nivel del suelo (troposférico) no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma en una cadena de reacciones químicas como consecuencia de las emisiones de los gases precursores NO_x, COV y CO. Los óxidos de nitrógeno se emiten durante la quema de combustible, por ejemplo en instalaciones industriales y en el transporte por carretera. Los óxidos de nitrógeno desempeñan un papel complejo en la química del O₃: cerca de su fuente los NO_x disminuyen el O₃ debido a la reacción entre el NO recién emitido y el O₃. Las áreas a sotavento de las principales fuentes de COV y NO_x pueden experimentar picos de O₃ cuando el viento aleja el O₃ y sus precursores de sus fuentes. Por lo tanto, pueden encontrarse elevadas concentraciones de O₃ en áreas remotas (véase el Recuadro 3.1).

Los compuestos orgánicos volátiles se emiten desde un gran número de fuentes, incluyendo el transporte por carretera, refinerías, limpieza en seco y otros usos, como disolventes. La vegetación es otra fuente de emisión de compuestos orgánicos volátiles en cantidades que dependen de la temperatura. El metano (CH₄), también un COV, se libera de la minería del carbón, la extracción y distribución de gas natural, los vertederos, las aguas residuales, los rumiantes, el cultivo de arroz y la quema de biomasa.

Los penachos de incendios forestales y otras formas de biomasa contienen CO y pueden contribuir a la formación de O₃. También hay una concentración global de fondo de O₃ en el aire, en parte resultado de la formación de O₃ fotoquímico a nivel mundial y en parte consecuencia del transporte de O₃ estratosférico a la troposfera.

3.1.2. Efectos del O₃

El exceso de O₃ en el aire puede tener un marcado efecto en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y causar enfermedades pulmonares (OMS, 2008). Estudios a corto plazo muestran que las concentraciones actuales de O₃ en Europa tienen efectos adversos para la salud, especialmente en el verano, sobre la función pulmonar, inflamación de los pulmones, permeabilidad pulmonar, síntomas respiratorios, mayor uso de medicamentos, morbilidad y mortalidad. Varios estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria aumenta con el aumento de la exposición al O₃ (OMS, 2008).

La evidencia epidemiológica de efectos crónicos por la exposición al O₃ es menos concluyente, debido principalmente a la falta de estudios específicamente diseñados para abordar esta cuestión. Los estudios con un análisis más detallado que relacionan la exposición a los impactos aportan nueva evidencia sobre los efectos

Recuadro 3.1. Ozono: un contaminante formado fotoquímicamente

El ozono no se emite directamente al aire. Prácticamente todo el ozono se forma por reacciones químicas que implican principalmente NO y NO₂ y COV.

La química de la formación de O₃ y su descomposición son complejas y están también impulsadas por la energía solar. Por ello, el O₃ se considera un contaminante fotoquímico. Las principales características de ello se pueden resumir como sigue: el NO₂ puede absorber eficientemente la luz solar y disociarla, produciendo oxígeno atómico (O) y NO. El oxígeno atómico a su vez reacciona rápidamente con el oxígeno molecular (O₂) para formar O₃ (siempre que una tercera molécula como el oxígeno molecular o el nitrógeno absorban el exceso de energía liberada en esta reacción). Por otro lado, el NO, normalmente emitido por procesos de combustión, reacciona rápidamente en el aire con el O₃ para formar NO₂ y O₂, y por lo tanto contribuir a la disminución de las concentraciones de O₃. Este proceso se conoce como reacción de valoración.

El mecanismo químico señalado anteriormente describe el estado de equilibrio en la atmósfera, en ausencia de otras sustancias gaseosas, una situación en la que la cantidad de O₃ estaría controlada por las cantidades relativas de NO₂ y NO, así como por la intensidad de la luz solar. Este equilibrio no explicaría los altos niveles de O₃ observados. No obstante, el aire contaminado también contiene COV. Los óxidos de nitrógeno y los COV participan en cientos de reacciones químicas. A través de la acción del radical hidróxilo formado por la acción de la luz solar, los COV se degradan para producir sustancias que reaccionan con el NO para producir NO₂ sin consumir O₃. El resultado neto de estas reacciones es que se forma más de una molécula de O₃ por cada molécula descompuesta de COV.

crónicos del O₃ en términos de capacidad pulmonar reducida y posibilidad de asma (OMS, 2006).

Los altos niveles de O₃ también pueden dañar las plantas, perjudicando su reproducción y crecimiento, con una reducción del rendimiento de los cultivos agrícolas, la disminución del crecimiento de los bosques y la pérdida de biodiversidad. El ozono disminuye la fotosíntesis y con ello también la absorción de CO₂ de la planta (AEMA, 2010a). El ozono aumenta asimismo los niveles de degradación de edificios y del patrimonio físico cultural.

Además de los efectos sobre la salud humana, las plantas y los cultivos, el O₃ es un GEI que contribuye al calentamiento de la atmósfera.

3.2. Normas europeas de calidad del aire para O₃

Los objetivos europeos de calidad del aire para el O₃ se muestran en la Tabla 3.1. La Directiva sobre Calidad del Aire de 2008 (UE, 2008c) establece valores para la protección de la salud humana y para la protección de la vegetación.

Para la protección de la salud se especifica un umbral máximo diario de la media de 8 horas (120 µg/m³). El valor objetivo, para ser aplicado por los Estados miembros a partir del 1 de enero de 2010, es que el umbral no debe superarse en una estación de seguimiento en más de 25 días por año, determinado como un promedio de tres años a partir de 2010. El objetivo a largo plazo (OLP) es que el nivel umbral no debe superarse en absoluto. Para la protección de la

salud, también hay umbrales de información pública y de alerta. Cuando se supera el umbral de alerta, el Estado miembro de la UE afectado debe elaborar un plan de acción a corto plazo, de acuerdo con las disposiciones específicas definidas en la Directiva sobre Calidad del Aire de 2008.

La UE tiene el objetivo de proteger a la vegetación de altas concentraciones de O₃ acumuladas durante la temporada de crecimiento (definida como los meses de verano, de mayo a julio). El valor de protección de la vegetación se especifica como "exposición acumulada por encima del umbral", AOT40. Se calcula como la suma de todos los valores de O₃ horario que superen los 40 microgramos por metro cúbico (µg/m³) durante el período diurno de la temporada de crecimiento más intenso (mayo a julio). El valor objetivo para el 2010 es de 18.000 (µg/m³).hora. El objetivo a largo plazo es 6.000 (µg/m³).hora, como se muestra en la Tabla 3.1. Además del valor objetivo de la UE, el Convenio de la CEPE sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a gran distancia (CEPE, 1979) define un nivel crítico para la protección de los bosques. Este nivel crítico está relacionado con la exposición acumulada por encima del umbral (AOT40) durante todo el verano (abril-septiembre) y se establece en 10.000 (µg/m³).h. La directriz actualizada de calidad del aire para O₃ de la OMS es una concentración media de 8 horas de 100 µg/m³ (OMS, 2006). La OMS (2008) explica las razones de la directriz de la siguiente manera:

"El límite recomendado anteriormente, que se fijó en una media de 8h de 120 µg/m³, se ha reducido a 100 µg/m³ en base a las recientes asociaciones concluyentes entre la mortalidad diaria y los niveles de O₃ que se producen en concentraciones de O₃ por debajo de 120 µg/m³".

Tabla 3.1. Normas de calidad del aire para O₃ definidas en la Directiva sobre calidad del aire

Objetivo	Período	Valor objetivo o umbral	Nº de casos de superación permitidos
Salud humana	Media octohoraria máxima diaria	120 µg/m ³ ^(b)	25 días por año promediados durante 3 años
Vegetación	AOT40 acumulada durante mayo-julio	18.000 (µg/m ³).h promediada durante 5 años	
OLP para salud	Media octohoraria máxima diaria	120 µg/m ³	
OLP para vegetación	AOT40 acumulada durante mayo-julio	6.000 (µg/m ³).h	
Información	Una hora	180 µg/m ³	
Alerta ^(a)	Una hora	240 µg/m ³	

Nota: ^(a) A ser medido durante tres horas consecutivas

^(b) Objetivo a cumplir a partir del 1 de enero de 2010

Fuente: UE, 2008c.

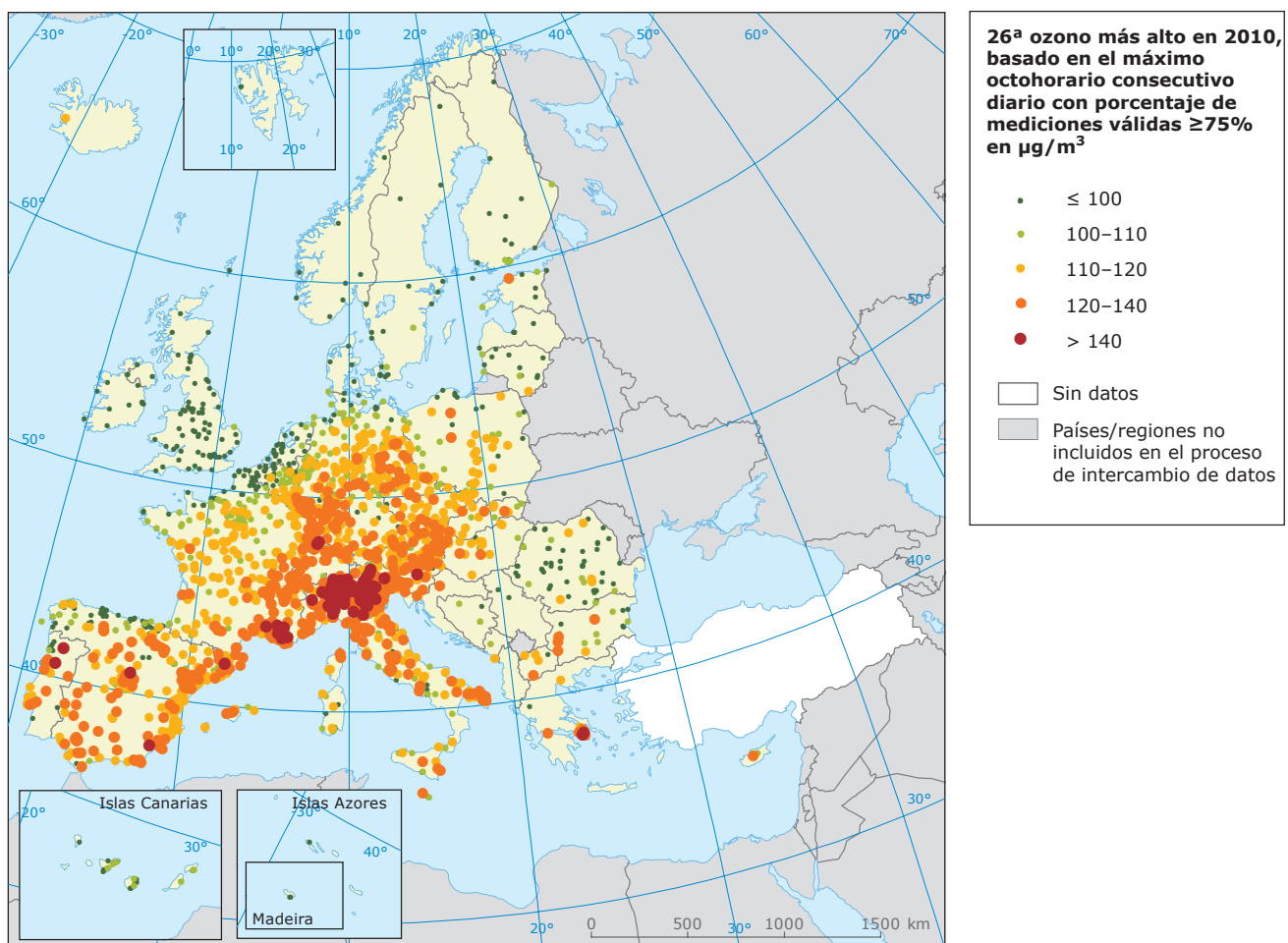
3.3. Encuesta europea sobre O₃

3.3.1. Superación de los valores objetivo para la protección de la salud

El umbral del valor objetivo de O₃ de 120 µg/m³ (máximo diario de los valores medios de 8 horas) se superó en más de 25 días por año en un gran número de estaciones en toda Europa en 2010 (los puntos oscuros de color naranja y rojo en el Mapa 3.1).

Dado que la formación de O₃ requiere de luz solar, las concentraciones de O₃ muestran un claro aumento desde las partes del norte a las partes del sur del continente, con las concentraciones más altas en los países mediterráneos. La concentración de O₃ normalmente aumenta con la altitud en los primeros kilómetros de la troposfera. El O₃ troposférico se consume debido a la deposición superficial y a la reacción de valoración (véase el Recuadro 3.1). Por lo tanto, pueden observarse mayores concentraciones de O₃ en las estaciones situadas a mayor altitud.

Mapa 3.1. 26ª concentración máxima octohoraria media diaria de O₃ registrada en cada una de las estaciones de seguimiento en 2010



Nota: El mapa muestra la proximidad de las concentraciones registradas de O₃ al valor objetivo. En emplazamientos marcados con puntos naranja oscuro y rojo, la 26ª concentración diaria más alta superaba el umbral de 120 µg/m³ y el número permitido de superaciones por el valor objetivo.

Fuente: AirBase v.6.

3.3.2. El ozono en localizaciones rurales, urbanas y de tráfico

A diferencia de otros contaminantes, los niveles de O_3 son generalmente más altos en las localizaciones rurales. Esto se debe a que en distancias cortas a fuentes de NO_x , como es el caso de las estaciones urbanas y de tráfico, el O_3 se consume a través de la valoración por el NO recién emitido (véase el Recuadro 3.1). La Figura 3.1 (arriba) para el indicador a corto plazo, y la Figura 3.3 (izquierda), para el promedio anual, muestran este gradiente desde concentraciones más altas en los emplazamientos rurales hacia concentraciones más bajas en los emplazamientos urbanos y menor aún en los lugares de tráfico. Las altas concentraciones de O_3 en algunas estaciones urbanas que se muestran en el Mapa 3.1 se deben a la formación de O_3 que se produce a veces en las grandes áreas urbanas durante los episodios de alta radiación solar y temperatura. La concentración máxima de esta formación local de O_3 se produce a menudo a sotavento de la zona urbanizada.

Las diferencias en la distribución y magnitud de las fuentes de emisiones de precursores del O_3 , la composición química del aire y las condiciones climáticas a lo largo de la dirección norte-sur y este-oeste de Europa dan lugar a considerables diferencias regionales en las concentraciones estivales de O_3 . Las diferencias de año en año en los niveles de O_3 también se deben a las variaciones meteorológicas. Los veranos calientes y secos, con largos períodos de altas presiones en grandes partes de Europa conducen a elevadas concentraciones de O_3 .

3.3.3. Distancia al objetivo

El umbral del valor objetivo de O_3 relacionado con la salud (aplicable a partir de 2010) se superó más de 25 veces en 2010 en un 40% de las estaciones rurales, en el 27% de las estaciones de fondo urbanas, en el 27% de los emplazamientos industriales (etiquetados como "otro" en la Figura 3.1 (parte superior)) y en el 12% de los emplazamientos de tráfico.

La Figura 3.1 (en el centro) muestra que el umbral utilizado para el valor objetivo (aplicable a partir 2010) establecido para la protección de la vegetación se superó en un grado sustancial (42% de las estaciones rurales). Los valores más altos medidos (en Italia) superaron $45.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, más del doble del umbral objetivo.

La Figura 3.1 (abajo) muestra que el nivel crítico de $10.000 (\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$ del CLRTAP de la CEPE ⁽¹³⁾ establecido para la protección de los bosques se superó en casi todas las estaciones rurales. Las pocas estaciones que no muestran la superación del nivel crítico se encuentran principalmente en el noroeste de Europa. Para este indicador hay un número de casos de superación sustancialmente mayor que para el de protección de la vegetación.

La conformidad con el valor de AQG de la OMS para O_3 (media octohoraria de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), establecido para la protección de la salud humana sólo se observó en dos de las 510 estaciones de fondo rurales en 2010. Sólo el 3% y el 7% de las estaciones de fondo (sub)urbanas y de tráfico, respectivamente, midieron concentraciones que no excedían el AQG de la OMS en 2010.

Aunque el valor objetivo de la UE ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, permitiéndose 25 casos de superación) es menos ambicioso que el AQG de la OMS (es decir, no haber alcanzado la norma de calidad del aire) se dan muchas situaciones de no cumplimiento en la mayoría de los Estados miembros de la UE, como se muestra en la Figura 3.2. En zonas (sub)urbanas los niveles observados en 2010 indican la consecución del valor objetivo en torno al 75% de las estaciones de fondo (de Leeuw, 2012).

3.3.4. Tendencias en las concentraciones de O_3

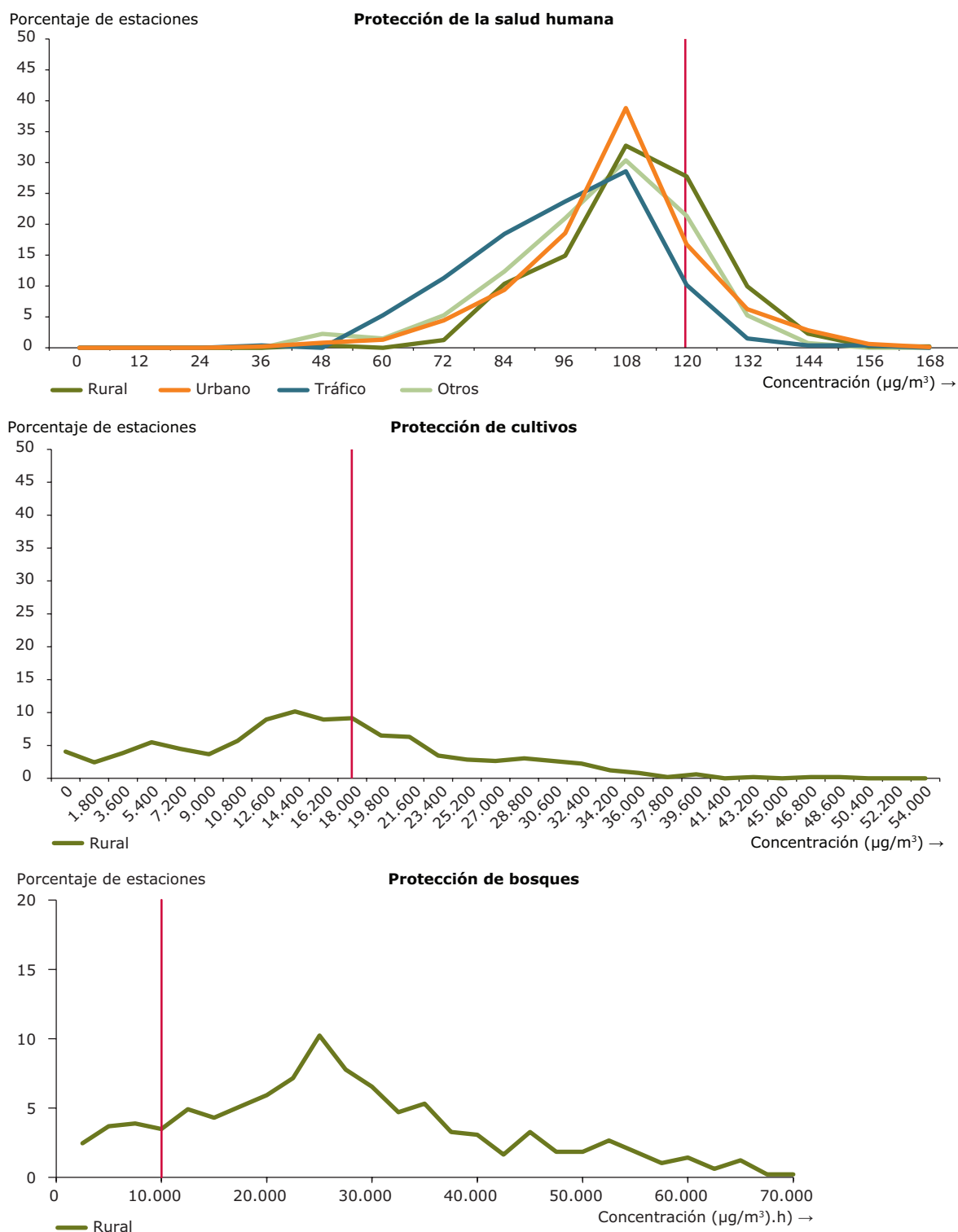
Las variaciones en las concentraciones de O_3 pueden ser diferentes según los distintos tipos de estaciones y para diferentes indicadores (Mol *et al.*, 2011). Entre los episodios de altas concentraciones de O_3 (llamadas concentraciones pico) se ha observado una tendencia negativa (lo que implica un menor número de ocurrencias) (AEMA, 2010a). Últimamente, en el verano de 2011, el umbral de información (una concentración media de O_3 de una hora de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se superó en aproximadamente el 18% de todas las estaciones operativas - el porcentaje más bajo desde que empezó la notificación integral de O_3 estival en Europa en 1997 (AEMA, 2012b).

El Mapa 3.2 muestra las variaciones medias en la media anual de O_3 de los valores máximos octohorarios medios para las estaciones que registraron una tendencia durante el período de 2001 a 2010 (de Leeuw, 2012) ⁽¹⁴⁾. En el 66% de las estaciones que registraron una tendencia, se observó una leve tendencia negativa

⁽¹³⁾ UNECE-CLRTAP: Naciones Unidas, Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas - Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia.

⁽¹⁴⁾ Se utilizó un conjunto de 1.241 estaciones con datos de 2001 a 2010 en el análisis de tendencias. De éstas, sólo 253 estaciones registraron una tendencia (una tendencia significativa, mediante la prueba de Mann-Kendall). Las 988 estaciones restantes no mostraban una tendencia significativa.

Figura 3.1. Gráficos de distancia al objetivo para el umbral objetivo de O₃ para la protección de la salud humana (arriba), protección de cultivos (centro) y bosques (abajo), en 2010

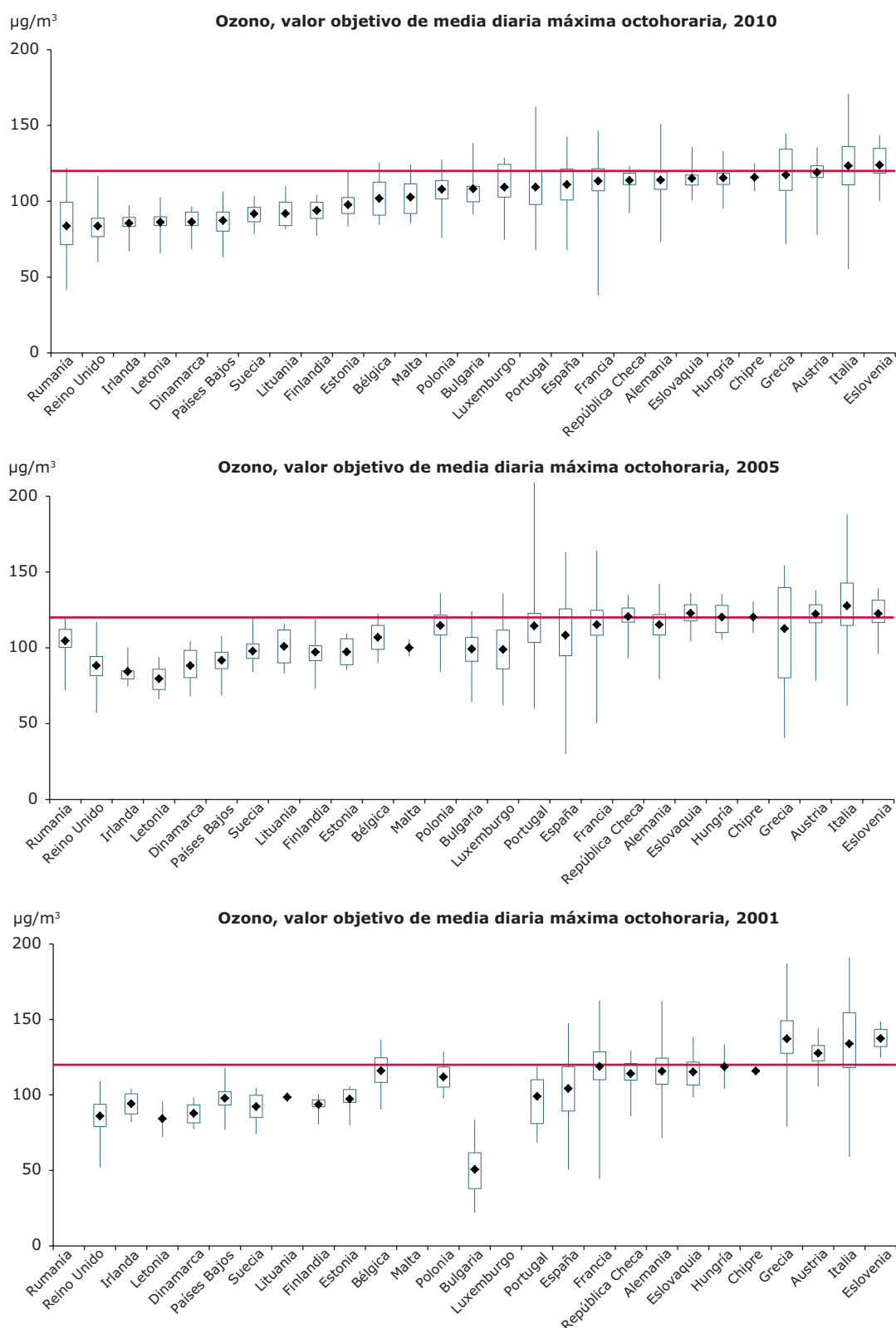


Nota: Los gráficos muestran la distribución de frecuencia porcentual de las estaciones (en el eje y) en los Estados miembros de la UE frente a las diferentes clases de concentración (en el eje x, en µg/m³ excepto para AOT40 que está en (µg/m³). h).

Los gráficos muestran la distribución de frecuencia porcentual de la 26^o máxima diaria de la media octohoraria consecutiva de O₃ para los distintos tipos de estaciones (arriba); las concentraciones AOT40 medidas en las estaciones rurales de la UE para la protección de la vegetación (acumuladas a lo largo de mayo a julio) (centro) y para la protección de los bosques (acumuladas durante abril a septiembre) (abajo).

Las líneas verticales corresponden a los valores objetivo o umbrales establecidos por la legislación de la UE. La barra roja vertical (inferior) corresponde al nivel crítico del CLRTAP: AOT40 (la dosis acumulada de O₃ por encima de un umbral de 40 ppb, lo que equivale a 80 µg/m³, desde el 1 de abril al 30 de septiembre) fijada en 10.000 (µg/m³). h.

Fuente: AirBase v.6 (arriba y centro); de Leeuw (2012) (abajo)

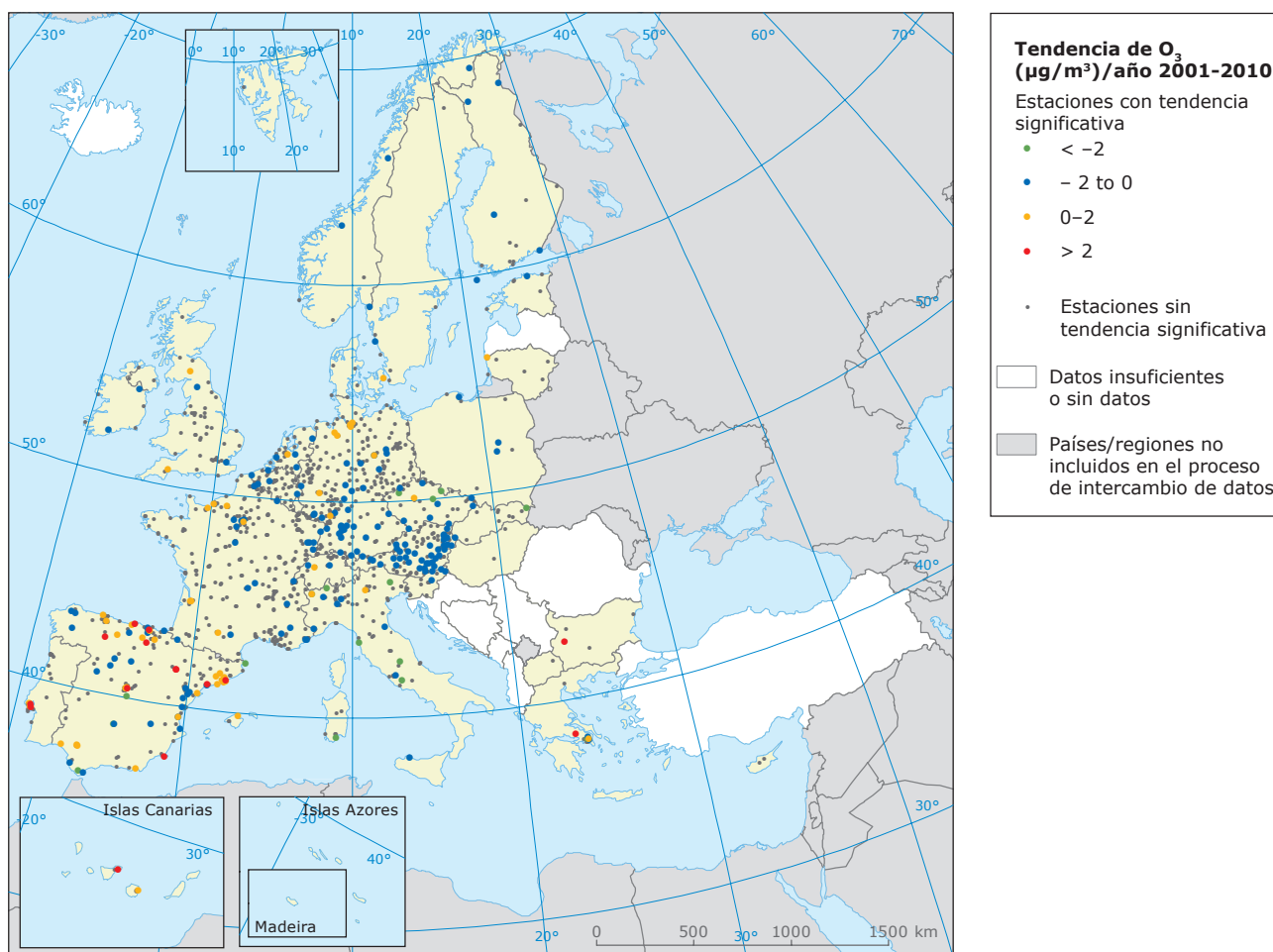
Figura 3.2. Situación alcanzada con respecto al O₃, años de referencia 2010, 2005 y 2001

Nota: Los gráficos se basan en el percentil 93,2 de la concentración media máxima diaria de 8 horas que corresponde a la 26ª máxima diaria de la media octohoraria consecutiva; presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oficialmente notificadas por la Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor objetivo establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).

El diagrama indica las observaciones más bajas y más altas, las medias y los cuartiles inferiores y superiores. El cuartil inferior señala el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más bajos y el cuartil superior el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más altos.

Fuente: CTE/ACM.

Mapa 3.2. Variaciones anuales en la media anual de las concentraciones máximas diarias octohorarias de O₃ en el periodo 2001-2010



Nota: Las tendencias estadísticamente significativas (nivel de significancia de 0,1) se calculan aplicando la prueba de Mann-Kendall. Las pendientes de la tendencia se indican con puntos coloreados cuando son estadísticamente significativos. Los puntos rojos indican concentraciones en aumento. El método aplicado se describe en de Leeuw, 2012.

Fuente: de Leeuw, 2012.

(de menos de 2 µg/m³ por año), mientras que el 7% de las estaciones tenían una tendencia negativa más pronunciada (igual o superior a 2 µg/m³ por año)⁽¹⁵⁾. El 28% de las estaciones registraron una tendencia positiva de 2001 a 2010⁽¹⁶⁾. La mayoría de las estaciones que muestran una marcada tendencia positiva se encuentran en la Península Ibérica⁽¹⁷⁾. Nueve de las catorce estaciones de la Península Ibérica que

muestran una tendencia positiva acusada se clasifican como estaciones de tráfico, las otras son estaciones urbanas o industriales. Los niveles crecientes de O₃ en emplazamientos de tráfico se atribuyen principalmente a un agotamiento reducido de O₃ por el NO como resultado de la disminución de las emisiones de NO_x del tráfico (de Leeuw, 2012).

⁽¹⁵⁾ 66% equivale a 167 estaciones.

⁽¹⁶⁾ 28% equivale a 70 estaciones.

⁽¹⁷⁾ 16 estaciones registraron una tendencia con un aumento de 2 µg/m³ por año o más, 14 de las cuales se encuentran en la Península Ibérica.

La Figura 3.3 muestra las tendencias en la media anual de las concentraciones máximas diarias ce medias móviles octohorarias de O₃ (izquierda) y su percentil 93,2 (derecha) en distintos tipos de estaciones en el periodo 2001-2010. Este último indicador está directamente relacionado con el valor objetivo para O₃ que permite la superación del umbral del valor objetivo de 120 µg/m³ en 25 días al año. Las variaciones en las concentraciones obtenidas en los distintos tipos de estaciones muestran los efectos del agotamiento de O₃ debido a NO emitido localmente, siendo las estaciones de tráfico las que mostraron las concentraciones más bajas y las estaciones rurales las más altas. La Figura 3.3 no muestra una tendencia clara a nivel agregado de la UE, ni en la media anual ni en el indicador relacionado con el valor objetivo, en zonas urbanas y emplazamientos rurales.

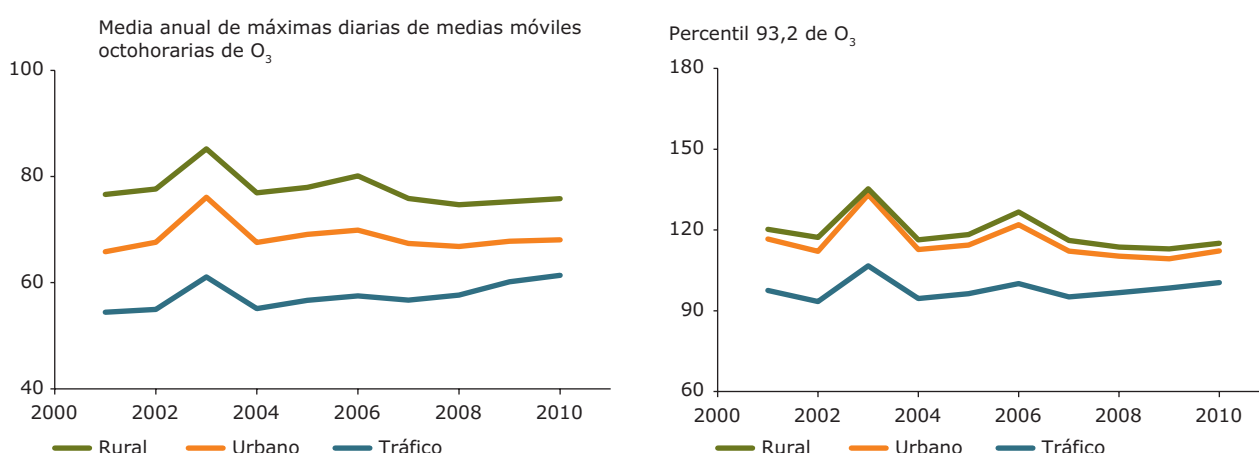
Emisiones de precursores de O₃

Las emisiones de la UE de contaminantes atmosféricos responsables principalmente de O₃ troposférico perjudicial disminuyeron significativamente en el periodo 2001-2010. Las emisiones de monóxido de carbono se redujeron en un 33% (Figura 6.4), las de COVNM en un 27% y las de NO_x en un 26% (Figura 2.6) ⁽¹⁸⁾. Sin embargo, las emisiones de NO_x en 2010 se mantuvieron un 12% por encima del techo de

emisión de la Directiva 2001/81/CE (Anexo II) que debía alcanzarse en 2010, debido principalmente a las emisiones del transporte por carretera. Para COVNM, las emisiones en 2010 fueron ligeramente inferiores al techo de emisión (AEMA, 2012a), pero esta disminución no se manifestó en una disminución significativa de las concentraciones de O₃ troposférico.

Los sectores del transporte y de la energía son los principales responsables de las emisiones de NO_x, seguidos de la industria (Figura 2.7). El sector del transporte redujo sus emisiones de NO_x en un 27% entre 2001 y 2010, y los sectores de la energía e industria en un 17% y 19%, respectivamente. Como muestra la Figura 2.7, varios sectores han reducido sus emisiones de COVNM en la última década, con la excepción de la quema de combustible en comercios, instituciones y hogares, que aumentó sus emisiones en un 10% y el sector de la agricultura con un aumento del 56%. El sector del transporte, que fue el segundo mayor emisor en el año 2001, obtuvo la mayor reducción con un recorte del 56% en el periodo 2001-2010. El sector del uso de disolventes y productos ha sido la mayor fuente de emisiones de COVNM y ha reducido sus emisiones en un 10% entre 2001 y 2010. Las emisiones de COV no metánicas procedentes de los sectores de residuos e industrial se redujeron en un 11% y las emisiones del sector energético se redujeron en un 14%.

Figura 3.3. Tendencia en la media anual de las concentraciones máximas diarias de medias móviles octohorarias de O₃ (izquierda) y tendencia en el percentil 93,2 de las concentraciones máximas diarias de medias móviles octohorarias (derecha) (en µg/m³) para 2001-2010 por tipo de estación



Nota: Todas las estaciones en los Estados miembros de la UE con al menos el 75% de cobertura de los datos durante al menos ocho años fueron incluidas en el análisis. Las concentraciones por tipo de estación se dan en µg/m³. En los diagramas existe un sesgo geográfico hacia el centro de Europa, donde existe una mayor densidad de estaciones.

El percentil 93,2 de los valores máximos diarios de medias móviles octohorarias está directamente relacionado con el valor objetivo para O₃, ya que se permite superar el umbral del valor objetivo de 120 µg/m³ un total de 25 días al año.

Fuente: CTE/ATM

⁽¹⁸⁾ Los países de la AEMA-32 registraron las reducciones de emisiones entre 2001 y 2010 como sigue: 35% para CO, 28% para COVNM y 23% para NO_x.

Relación de los precursores de O₃ con las concentraciones ambiente de O₃

La relación de concentración de O₃ con los precursores emitidos no es lineal. Existe una discrepancia entre las reducciones de las emisiones de gases precursores de O₃ y los cambios observados en las concentraciones medias anuales de O₃ en Europa (Figura 3.3). Las razones incluyen el aumento del transporte intercontinental de O₃ y sus precursores en el hemisferio norte (AEMA, 2010a; Naciones Unidas, 2010a) (véase la Sección 1.3.4 de este informe) y otros factores que puedan enmascarar los efectos de las medidas europeas para reducir las emisiones de precursores de O₃. Estos incluyen el cambio/variabilidad climático, las emisiones de COVNM procedentes de la vegetación, cuya magnitud es difícil de cuantificar, y penachos de incendios forestales y de otros tipos de biomasa (AEMA, 2010a). La formación de O₃ troposférico procedente del aumento de las concentraciones de CH₄ también pueden contribuir a los niveles sostenidos de O₃ en Europa. Las concentraciones de metano aumentaron continuamente durante el siglo XX, antes de que el crecimiento se desacelerara a partir de 1990 y, finalmente, se estabilizara entre 1999 y 2007. Desde 2007, sin embargo, las mediciones indican que las concentraciones han comenzado a aumentar de nuevo (Dlugokencky *et al.*, 2009). El metano es un contaminante de reacción lenta y bien mezclado globalmente. Por lo tanto, las emisiones locales y regionales aisladas de CH₄ pueden tener un impacto limitado sobre las concentraciones locales de O₃.

Claramente, las concentraciones de O₃ no sólo están determinadas por las emisiones de precursores, sino

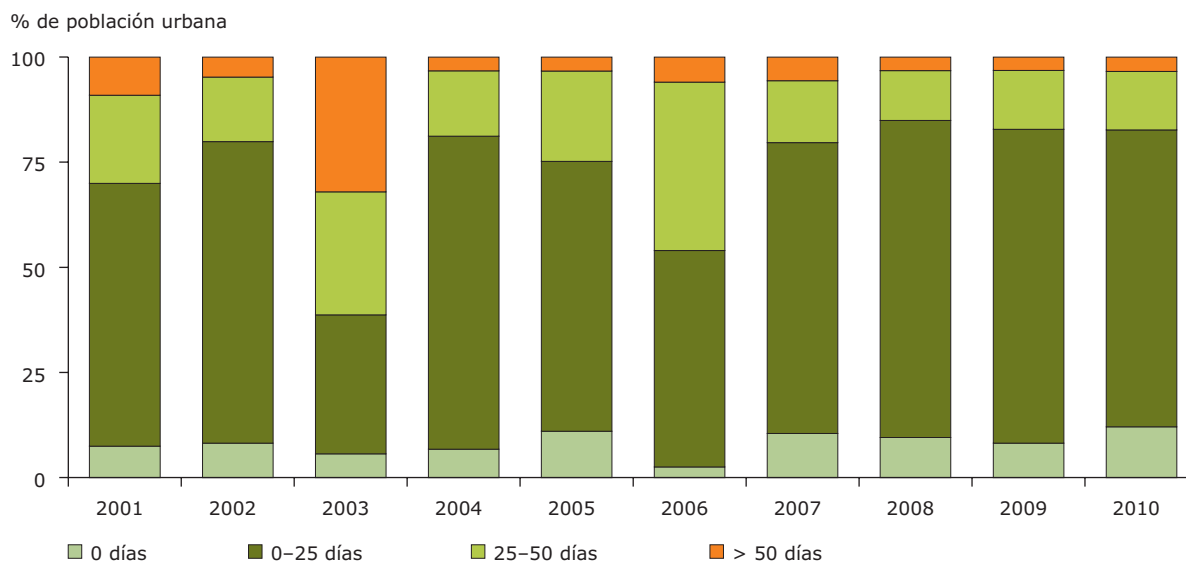
también por las condiciones meteorológicas. La luz del sol y las altas temperaturas favorecen la formación de O₃. Los episodios de elevados niveles de O₃ se producen durante períodos de tiempo cálido y soleado. Sin embargo, independientemente de la naturaleza episódica de la contaminación de O₃ fuertemente influenciada por las condiciones meteorológicas, las emisiones de gases precursores de O₃ están manteniendo una línea de base de superación de los umbrales legales de concentración. La disminución de las emisiones antropogénicas de algunos precursores de O₃ (NO_x, CO y algunos COVNM) en la última década ha reducido, sin embargo, la cantidad de valores de concentración máxima. El problema de la contaminación por O₃ requiere más esfuerzos de mitigación.

3.4. Exposición a la contaminación por O₃ en Europa

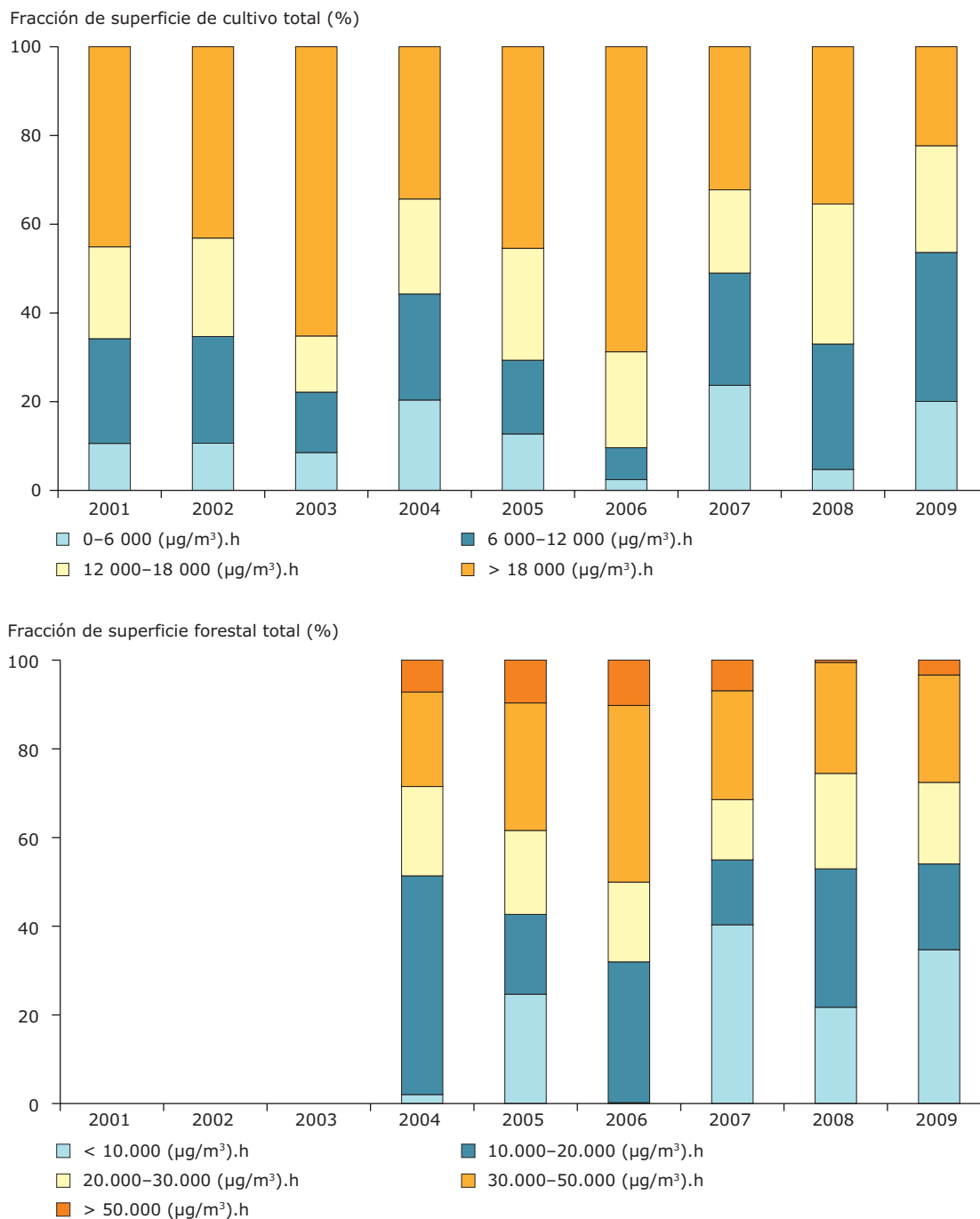
3.4.1. Exposición humana

Los datos del seguimiento de O₃ en AirBase sirven de base para estimar la exposición urbana de la población europea a casos de superación del valor objetivo de O₃ (aplicable a partir de 2010) para la protección de la salud humana. Esta estimación se muestra en la Figura 3.4 para el período 2001-2010. La exposición se calcula sobre la base de O₃ medido en todas las estaciones urbanas de seguimiento de fondo. Se calcula una concentración media para cada ciudad y se considera que toda la población de una ciudad se expone a esta concentración media.

Figura 3.4. Porcentaje de población urbana de la UE expuesta a concentraciones de O₃ superiores al umbral del valor objetivo establecido para la protección de la salud humana, 2001-2010



Fuente: AEMA, 2012d (CSI 004)

Figura 3.5. Exposición del área agrícola (arriba) y forestal (abajo) a O₃ (AOT40 en µg/m³.h)

Nota: La evaluación se efectúa para los países miembros de la AEMA-32.

Cifra superior: En la Directiva sobre calidad del aire (2008/50/CE) el valor objetivo para la protección de la vegetación se establece en 18.000 (µg/m³). h, mientras que el objetivo a largo plazo se establece en 6.000 (µg/m³). h. Debido a la falta de datos detallados sobre la cobertura del suelo y/o datos de O₃ rural, no se incluyeron los datos de Islandia y Noruega hasta 2006. Suiza no se ha incluido en el análisis para todo el periodo 2001-2007 debido a las mismas razones. Turquía no está incluida en el análisis 2001-2008.

Cifra inferior: la CEPE ha establecido un nivel crítico para la protección de los bosques en 10.000 (µg/m³). h. Desde 2004, se ha incluido un número creciente de países miembros de la AEMA. En 2004, no se ha incluido a Bulgaria, Grecia, Islandia, Noruega, Rumania, Suiza y Turquía. En 2005-2006, Islandia, Noruega, Suiza y Turquía siguen excluidos de los análisis debido a la falta de datos detallados sobre la cobertura del suelo y/o datos de O₃ rural. En 2007, Suiza y Turquía no están incluidas. A partir de 2008 Turquía es el único país que no está incluido. Los cálculos de la exposición de los bosques no están disponibles para años anteriores a 2004.

Fuente: AEMA, 2012C (CSI 005)

Es interesante señalar que los habitantes de zonas rurales están expuestos a mayores niveles de O₃ que los de las ciudades. En las zonas urbanas con nuevas aportaciones de NO procedentes de las emisiones del tráfico, se consume algo de O₃ en la oxidación de NO a NO₂. En 2010 alrededor del 17% de la población de la UE en las áreas urbanas estuvo expuesta a concentraciones de O₃ por encima del valor objetivo. El grado de exposición por encima del valor objetivo ha variado entre el 15% y el 61% desde 2001. Se calcularon los mismos porcentajes para la AEMA-32. No hay una tendencia evidente en este periodo. El intervalo refleja parcialmente las variaciones causadas por la meteorología.

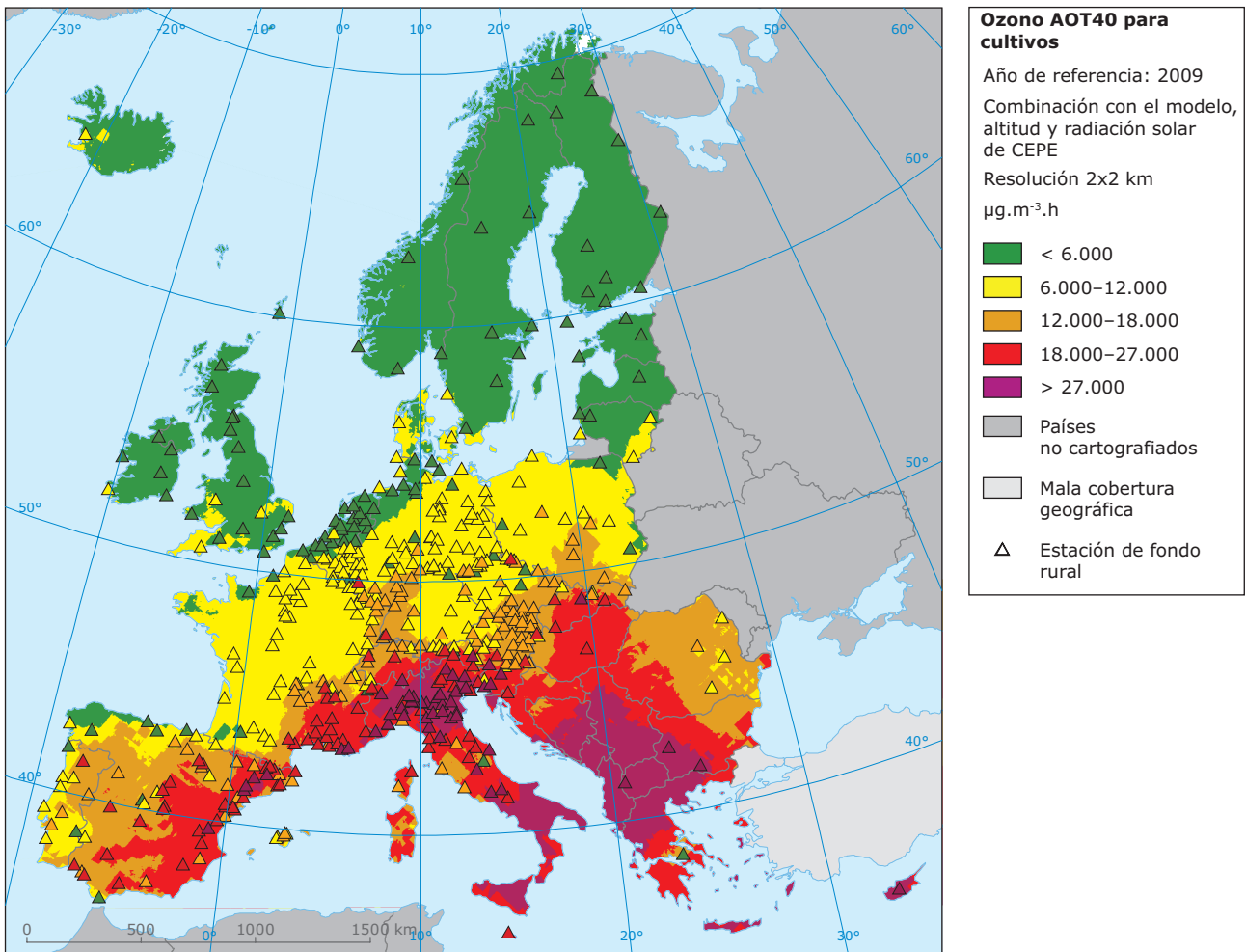
La población urbana de la UE expuesta a niveles de O₃ que exceden el valor de las AQG de la OMS es significativamente alta, representando más del 97% del total de la población urbana en 2010 (Tabla ES.1).

3.4.2. Exposición de los ecosistemas

El valor objetivo para la protección de la vegetación de altas concentraciones de O₃, la AOT40 (exposición acumulada por encima de 40 µg/m³ para los meses de verano, de mayo a julio), que debe cumplirse para el año 2010 es de 18.000 µg/m³.h, valor promedio de cinco años. El objetivo a largo plazo es una AOT40 de 6.000 µg/m³.h.

Desde 2001, el umbral del valor objetivo se ha superado en una parte importante de la superficie agrícola en los países de la AEMA-32. Por ejemplo, en 2009 el umbral se superó en cerca del 22% de la superficie agrícola (Figura 3.5 y Mapa 3.3). Se han observado casos de superación del valor objetivo sobre todo en el sur, centro y este de Europa (Mapa 3.3). El objetivo a largo plazo se cumplió en el 20% de la superficie agrícola total en 2009, principalmente en el Reino Unido, Irlanda y los países nórdicos.

Mapa 3.3. Exposición al O₃ de las superficies agrícolas en Europa (AOT40)



Fuente: AEMA, 2012c (CSI 005).

Las variaciones entre años (Figura 3.5) están influidas por factores meteorológicos. Los veranos de 2003 y 2006 tuvieron condiciones meteorológicas favorables para la formación de O_3 dando lugar a concentraciones excepcionalmente altas. De hecho, las concentraciones medias de O_3 en 2006 fueron sólo ligeramente superiores a las de 2005, pero junio y julio de 2006 se caracterizaron por un elevado número de episodios de O_3 que resultaron en un valor mucho más alto de AOT40 en comparación con 2005 (AEMA, 2011b).

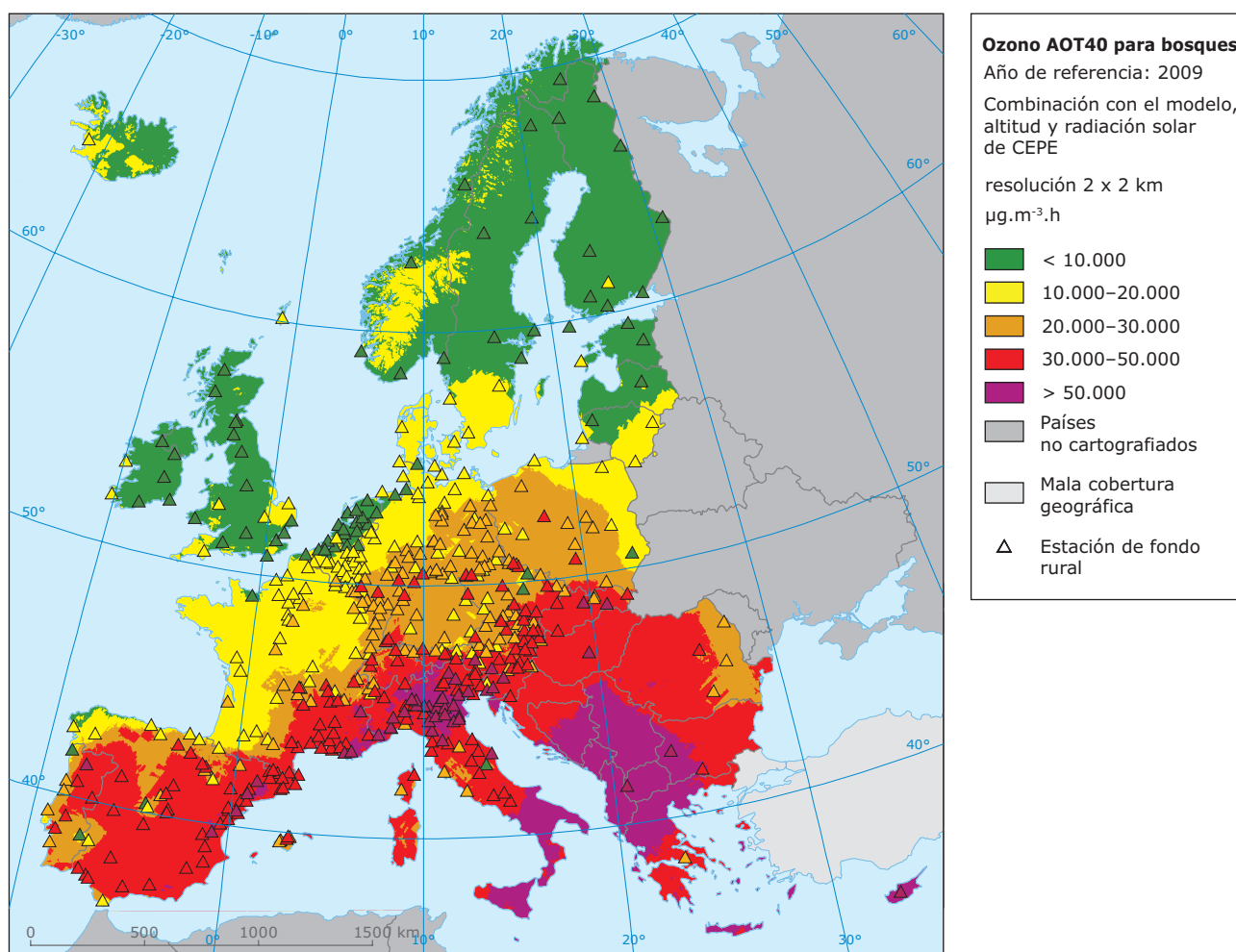
En cuanto al nivel crítico del CLRTAP de la CEPE para la protección de los bosques ($10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), la Figura 3.5 (abajo) muestra que este nivel crítico fue superado en el 65% de la superficie forestal total en los países miembros de la AEMA-32 en 2009. El Mapa 3.4 muestra claramente que las áreas de logro en el año 2009 se encontraban en la parte norte de Europa, mientras que los mayores casos de superación se produjeron en el sureste y en Italia.

3.5. Respuestas

Las medidas actuales de política para reducir las concentraciones de O_3 están orientadas principalmente a las emisiones de precursores de NO_x y COVNM.

Las correspondientes medidas de reducción de NO_x se describen en la Sección 2.5 (ya que los NO_x también son precursores de PM). Como se señaló en la Sección 2.5, se estima que las directrices para las emisiones de vehículos en carretera y las directivas GIC e IPPC para las fuentes industriales y centrales eléctricas han reducido las emisiones de NO_x de los vehículos en carretera en un 55% y de las centrales eléctricas y grandes plantas industriales en un 68% en el período 1990-2005, en comparación con una situación hipotética de no aplicación de las directivas (AEMA, 2010b).

Mapa 3.4. Exposición las áreas forestales de Europa a O_3 (AOT40)



Fuente: AEMA, 2012c (CSI 005).

Las normas Euro sobre emisiones también limitan las emisiones de COVNM procedentes de vehículos en carretera. Específicamente, la introducción del catalizador de tres vías ha supuesto considerables reducciones de las emisiones de COVNM.

Las emisiones de COV de los vapores procedentes de las estaciones de servicio están reguladas y limitadas por las Directivas de recuperación de vapores (UE, 1994 y 2009a, tratadas en el Anexo 2). La Etapa I de la Directiva de recuperación de vapores (UE, 1994) ha reducido las emisiones totales de COV del almacenamiento de gasolina en las terminales y su posterior distribución a las estaciones de servicio.

Las directivas que limitan las emisiones de COVNM procedentes de sectores industriales incluyen la Directiva sobre pinturas (UE, 2004a), la Directiva sobre disolventes (UE, 1999a) y la Directiva IPPC (UE, 2008b) - estas dos últimas sustituidas por la Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales (UE, 2010b) permanecerán en vigor durante varios años más. Cada una se describe en el Anexo 2. La Directiva sobre

disolventes limita las emisiones de COV procedentes de una serie de actividades e instalaciones, incluidos los recubrimientos, limpieza en seco, la fabricación de barnices y adhesivos, la fabricación de productos farmacéuticos, imprenta, limpieza de superficies, renovación del acabado de vehículos y otros. La Directiva sobre pinturas regula los contenidos máximos de COV en las pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos. La Directiva sobre emisiones industriales (UE, 2010b) regula los permisos de emisión y requiere el uso de las mejores técnicas disponibles (MTD) en las instalaciones de producción y equipos de limpieza. El Protocolo de Kioto del CMNUCC (Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) se refiere a las emisiones de CH₄ como uno de los seis principales gases de efecto invernadero.

La aplicación de planes de calidad del aire puede determinar el grado de consecución de los objetivos de calidad del aire y los objetivos a largo plazo de O₃ (UE, 2008c).

4 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

4.1. Fuentes y efectos del NO₂

4.1.1. Orígenes del NO₂ en el aire

El dióxido de nitrógeno es un gas reactivo que se forma principalmente por la oxidación de NO. Los procesos de combustión a altas temperaturas (por ejemplo los que se producen en los motores de automóviles y centrales eléctricas) son las fuentes principales de NO_x, el término utilizado para describir la suma de NO y NO₂. El monóxido de nitrógeno constituye la mayor parte de las emisiones de NO_x. Una pequeña parte se emite directamente como NO₂, normalmente el 5-10% en la mayor parte de las fuentes de combustión, a excepción de los vehículos diésel. Hay indicios claros de que en las emisiones del tráfico, la fracción directa de NO₂ esté aumentando significativamente debido a una mayor penetración de los vehículos diésel, sobre todo con los nuevos vehículos diésel (Euro 4 y 5). Estos vehículos pueden emitir hasta un 70% de su NO_x como NO₂ (por ejemplo Grice *et al.*, 2009) debido a que sus sistemas de pos-tratamiento de gases de escape aumentan las emisiones directas de NO₂ (véase la Sección 4.3.2). Esto puede llevar a la violación más frecuente de los valores límite de NO₂ en los puntos de tráfico más intenso.

4.1.2. Efectos del NO₂

Los efectos sobre la salud pueden ser consecuencia de la exposición al NO₂ tanto a corto plazo (por ejemplo, cambios en la función pulmonar en los grupos vulnerables de la población) como por la exposición a largo plazo (por ejemplo, aumento de la susceptibilidad a las infecciones respiratorias). Los estudios epidemiológicos han demostrado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en asociación con la exposición a largo plazo a NO₂. La reducción de la función pulmonar también se asocia a concentraciones de NO₂ que se encuentran actualmente en las ciudades de Europa y América del Norte (OMS, 2008). Cabe señalar que como el NO₂ está altamente correlacionado con otros contaminantes (en particular con las PM) es difícil diferenciar en los estudios epidemiológicos los efectos de NO₂ de los de otros contaminantes.

Los compuestos de nitrógeno tienen efectos acidificantes, pero también son importantes nutrientes. La deposición excesiva de nitrógeno reactivo puede conllevar un exceso de nutrientes de nitrógeno en los ecosistemas, provocando la eutrofización (exceso de nutrientes) en los ecosistemas terrestres y acuáticos. El suministro de nitrógeno en exceso puede introducir cambios en comunidades únicas de animales y plantas terrestres, acuáticos o marinos, incluyendo la pérdida de biodiversidad (AEMA, 2010a).

Los óxidos de nitrógeno juegan un papel importante en la formación de O₃. También contribuyen a la formación de aerosoles inorgánicos secundarios (SIA), a través de la formación de nitratos, contribuyendo a las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}.

4.2. Normas europeas de calidad del aire para NO₂ y NO_x

Las normas europeas de calidad del aire para NO₂ y NO_x establecidas por la Directiva sobre calidad del aire de 2008 (UE, 2008c) se muestran en la Tabla 4.1. Se definen para NO₂ dos valores límite y un umbral de alerta para la protección de la salud humana. Los valores límite se especifican para exposiciones a corto (una hora) y largo plazo (anual) y los Estados miembros de la UE están obligados a su cumplimiento antes del 1 de enero de 2010. El valor de una hora se puede superar hasta 18 veces por año antes de que el valor límite se incumpla. Se establece un nivel crítico para la media anual de NO_x para la protección de la vegetación, definida como la suma de NO y NO₂ expresada en unidades de concentración de masa de NO₂.

La Directiva sobre calidad del aire de 2008 (UE, 2008c) también define un valor umbral de alerta de 400 µg/m³. Cuando se supera durante tres horas consecutivas en una superficie mínima de 100 km² o en una zona de gestión de la calidad del aire, las autoridades han de poner en práctica planes de acción a corto plazo. Estos planes de acción podrán incluir medidas relacionadas con la limitación de la circulación de automóviles, de obras de construcción, atraque de buques, y el uso de instalaciones o productos industriales y de calefacciones en los hogares. Las acciones específicas destinadas a la protección de los grupos vulnerables de la población, incluidos los niños, mediante la reducción de su exposición a altos niveles de NO₂ también pueden considerarse en el marco de esos planes.

Tabla 4.1. Valores límite y umbrales para NO₂ y NO_x según establece la Directiva sobre calidad del aire de 2008

Objetivo	Periodo promediado	Valor límite o umbral	Nº de superaciones permitidas
Salud humana	Una hora	200 µg/m ³	18 horas al año
Salud humana	Un año	40 µg/m ³	
Alerta ^(a)	Una hora	400 µg/m ³	
Vegetación ^(b)	Un año	30 µg/m ³	

Nota: ^(a) Deberán medirse durante tres horas consecutivas en lugares representativos de la calidad del aire durante al menos 100 km² o en una zona o aglomeración entera, lo que sea menor.

^(b) Como NO_x, expresado como µg NO₂/m³.

Fuente: UE, 2008c

Tabla 4.2. Directriz de calidad del aire de la OMS para NO₂

µg/m ³	Media de una hora	Media anual
NO ₂	200	40

Fuente: OMS, 2006

Los valores límite utilizados en los objetivos de salud humana establecidos por la Directiva sobre calidad del aire de 2008 son idénticos a las directrices de calidad de aire de la OMS para el NO₂ que se muestran en la Tabla 4.2 (OMS, 2006).

4.3. Encuesta europea sobre NO₂ y NO_x

4.3.1 Superación de los valores límite

El valor límite de la concentración media anual de NO₂, de obligado cumplimiento por los países desde 2010, está fijado en 40 µg/m³. En 2010, 22 de los 27 Estados miembros de la UE registraron casos de superación del valor límite en una o más estaciones (puntos naranjas y rojos en Mapa 4.1; Figura 4.2). Los valores de distancia al objetivo muestran que los niveles más bajos de concentración y el menor número de casos de superación se producen en las estaciones rurales y las concentraciones y casos de superación más altos

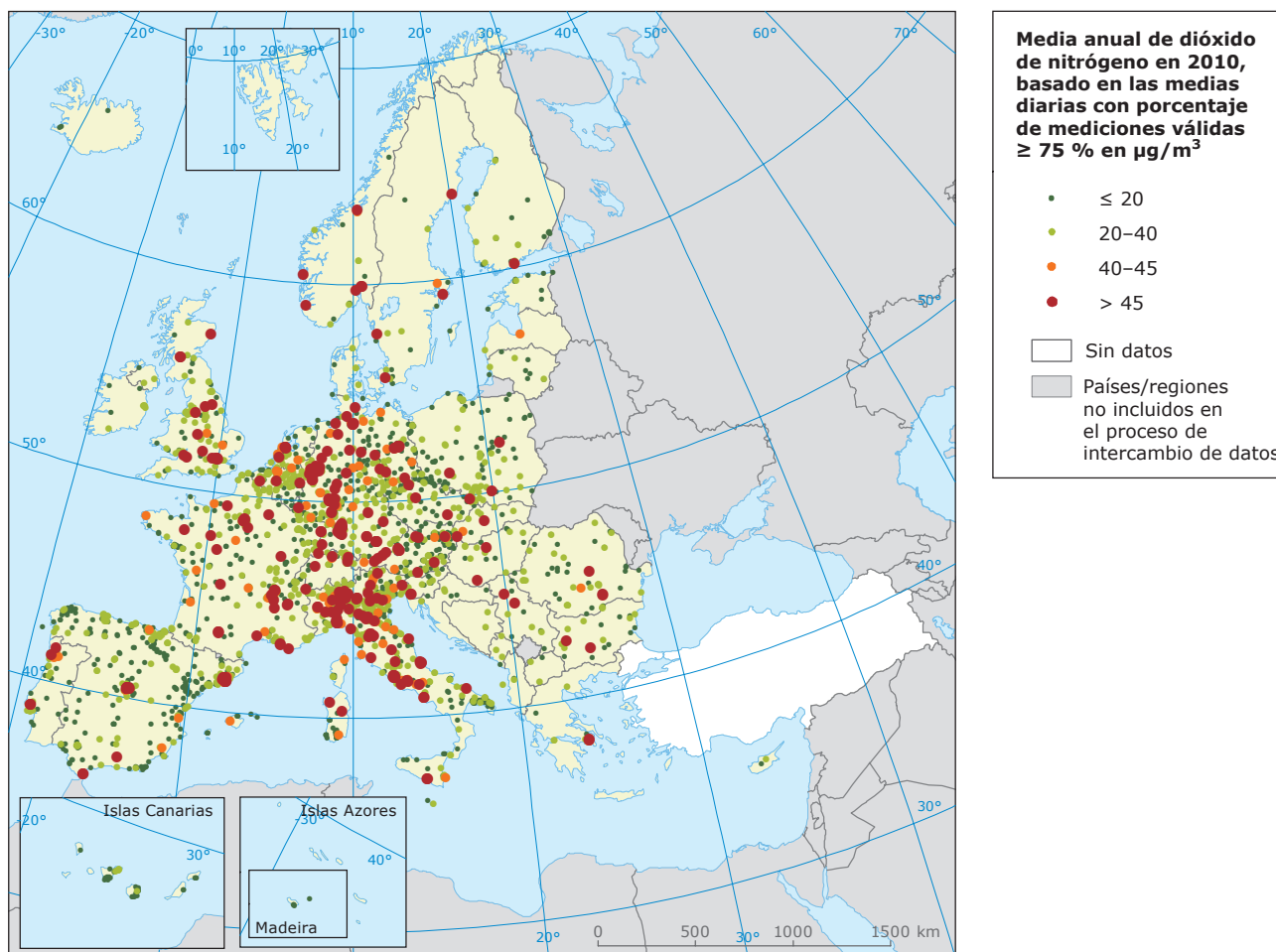
se encuentran en las estaciones de tráfico (Figura 4.1). Guerreiro *et al.* (2010) proporcionan un análisis exhaustivo de las concentraciones de NO₂ en puntos cercanos al tráfico, así como en el entorno urbano.

4.3.2 NO₂ en zonas rurales, urbanas y de tráfico

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno varían entre zonas rurales, urbanas y con tráfico, con diferencias en el caso de las PM y el O₃. Las concentraciones de dióxido de nitrógeno son mayores cerca de las fuentes y en zonas con tráfico, disminuyendo en las zonas urbanas. Las concentraciones más bajas se encuentran en las zonas rurales (Figura 4.1 y Figura 4.3). Aunque las PM secundarias y el O₃ se forman regionalmente a partir de gases precursores, las reacciones químicas son menos propensas a crear NO₂ a esta escala geográfica. Para la mayoría de fuentes de NO_x, la proporción de NO en las emisiones de NO_x es mucho mayor que la de NO₂, unas 10-20 veces más altas ⁽¹⁹⁾. La concentración de NO₂ aumenta a continuación a expensas del NO, debido a reacciones con el O₃. En las zonas de tráfico y urbanas con insumos de NO, el O₃ presente se consume en la oxidación del NO a NO₂. En las zonas rurales existen emisiones de NO relativamente limitadas, excepto cerca de las carreteras y los penachos de combustión. La reacción entre el NO, NO₂ y O₃ lleva al equilibrio químico (Recuadro 3.1 sobre O₃ en la Sección 3.1.1).

⁽¹⁹⁾ Una excepción son las emisiones de los vehículos a motor producidos después de 1990 (es decir, que cumplen con las normas de emisión Euro). Debido al efecto de los catalizadores en los vehículos a gasolina y a filtros de partículas en los vehículos diésel, la fracción de NO₂ en las emisiones es mucho mayor, representando el 20-70% de NO_x en función de la tecnología (por ejemplo Grice *et al.*, 2009).

Mapa 4.1. Concentración media anual de NO₂ en 2010

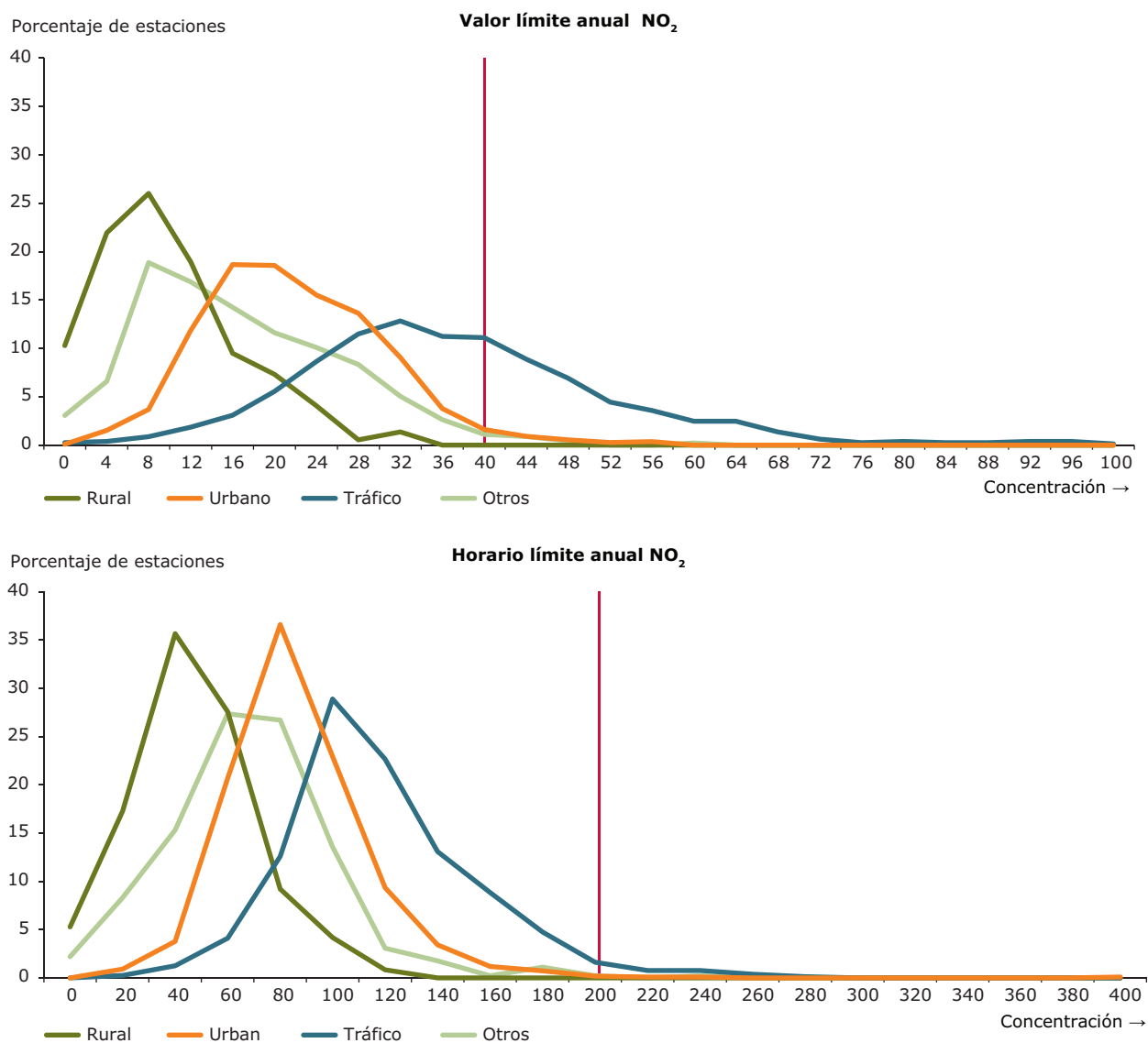


Nota: Los puntos naranjas y rojos corresponden a las superaciones del valor límite anual ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los puntos rojos corresponden a superaciones del valor límite anual + $5\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fuente: AirBase v.6.

Figura 4.1. Gráficos de distancia al objetivo para el valor límite anual (arriba) y horario (abajo) de NO₂, para diferentes tipos de estaciones, 2010

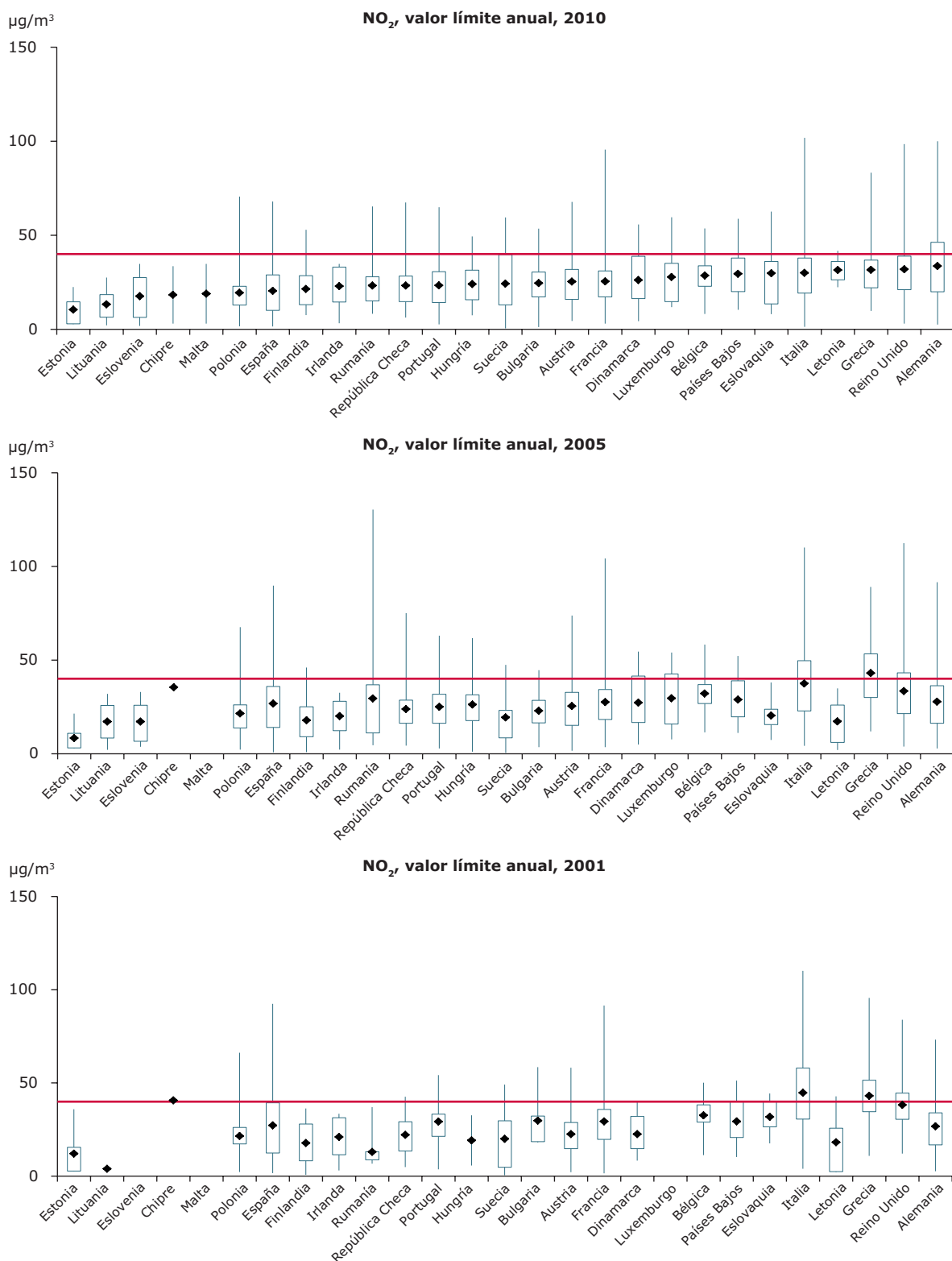


Nota: Los gráficos muestran la distribución de frecuencia porcentual de las estaciones (en el eje y) en los Estados miembros de la UE para las diferentes clases de concentración (en el eje x, en µg/m³).

Las líneas verticales corresponden a los valores límite establecidos en la legislación de la UE

Fuente: AirBase v.6.

Figura 4.2. Situación alcanzada con respecto al NO₂, años de referencia 2010, 2005, 2001



Nota: Los gráficos se basan en los valores de la concentración media anual; muestran el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en µg/m³) notificados oficialmente por los Estados miembros de la UE y la relación de las concentraciones con el valor límite establecido por la legislación de la UE (línea roja).

El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior señala el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más bajos y el cuartil superior el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más altos.

Fuente: CTE/ACM

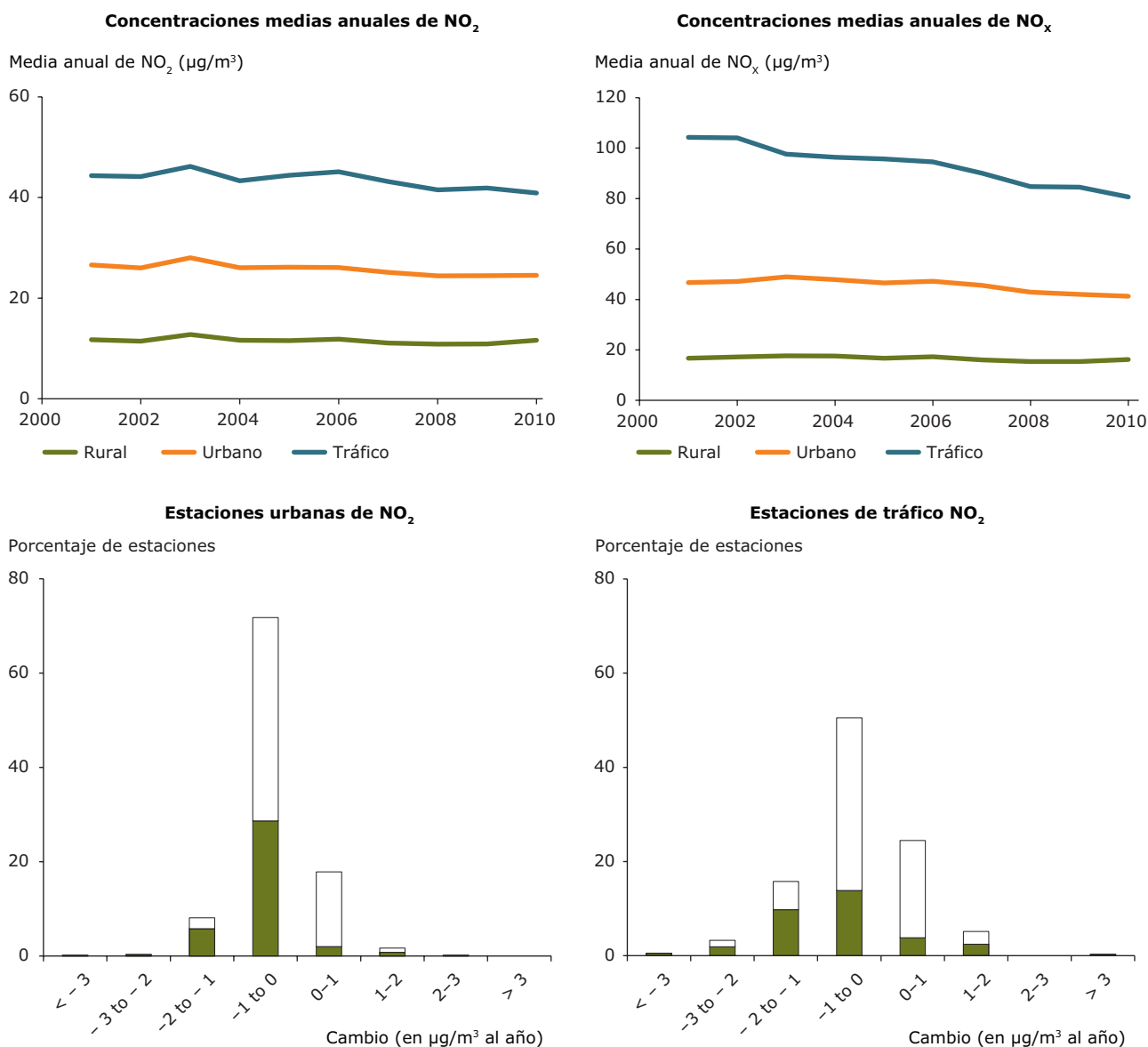
4.3.3. Distancia al objetivo

Mientras el valor límite anual se supera en sólo unas pocas estaciones de fondo rurales, se superó en el 4% de todas las estaciones de fondo urbanas. El valor límite anual es idéntico al valor de las AQG de la OMS. Se informó de la superación del valor límite en el 44% de

las estaciones de tráfico, con una concentración máxima observada de 102 µg/m³ en 2010, es decir, 2,5 veces el umbral.

La Figura 4.2 muestra los valores medios anuales de NO₂ para 2010, 2005 y 2001 para todos los Estados miembros de la UE. Indica claramente que se observó la

Figura 4.3. Tendencia en las concentraciones medias anuales de NO₂ y NO_x (2001-2010) por tipo de estación (arriba); distribución de frecuencias porcentuales del cambio anual estimado de concentraciones medias anuales de NO₂ en estaciones urbanas y de tráfico (abajo)



Nota: Se incluyeron en el análisis todas las estaciones de los Estados miembros con al menos un 75% de cobertura de datos durante al menos ocho años. Las concentraciones por tipo de estación se dan en µg/m³. Existe un sesgo geográfico hacia el centro de Europa en los dos diagramas, donde hay una mayor densidad de estaciones.

En los gráficos de distribución de frecuencias porcentuales, las barras cerradas denotan estaciones que muestran una tendencia estadísticamente significativa, las barras abiertas indican las estaciones con una tendencia no significativa. Las tendencias estadísticamente significativas (nivel de significancia de 0,1) se calculan aplicando el test de Mann-Kendall. El método aplicado se describe en el de Leeuw, 2012.

Fuente: CTE/ACM

superación del valor límite anual y el valor de las AQG de la OMS en la mayoría de los Estados miembros de la UE en una o más estaciones en 2010, con sólo Chipre, Estonia, Irlanda, Letonia, Malta y Eslovenia logrando el objetivo. Los únicos países con datos completos de NO_2 para los años 2001, 2005 y 2010, que no registraron una superación del valor límite anual de NO_2 en cualquiera de los tres años fueron Estonia, Irlanda y Letonia.

El umbral del valor límite horario para el NO_2 es menos estricto. Cerca del 0,4% de las estaciones de fondo urbanas y el 4% de las estaciones de tráfico notificaron casos de superación.

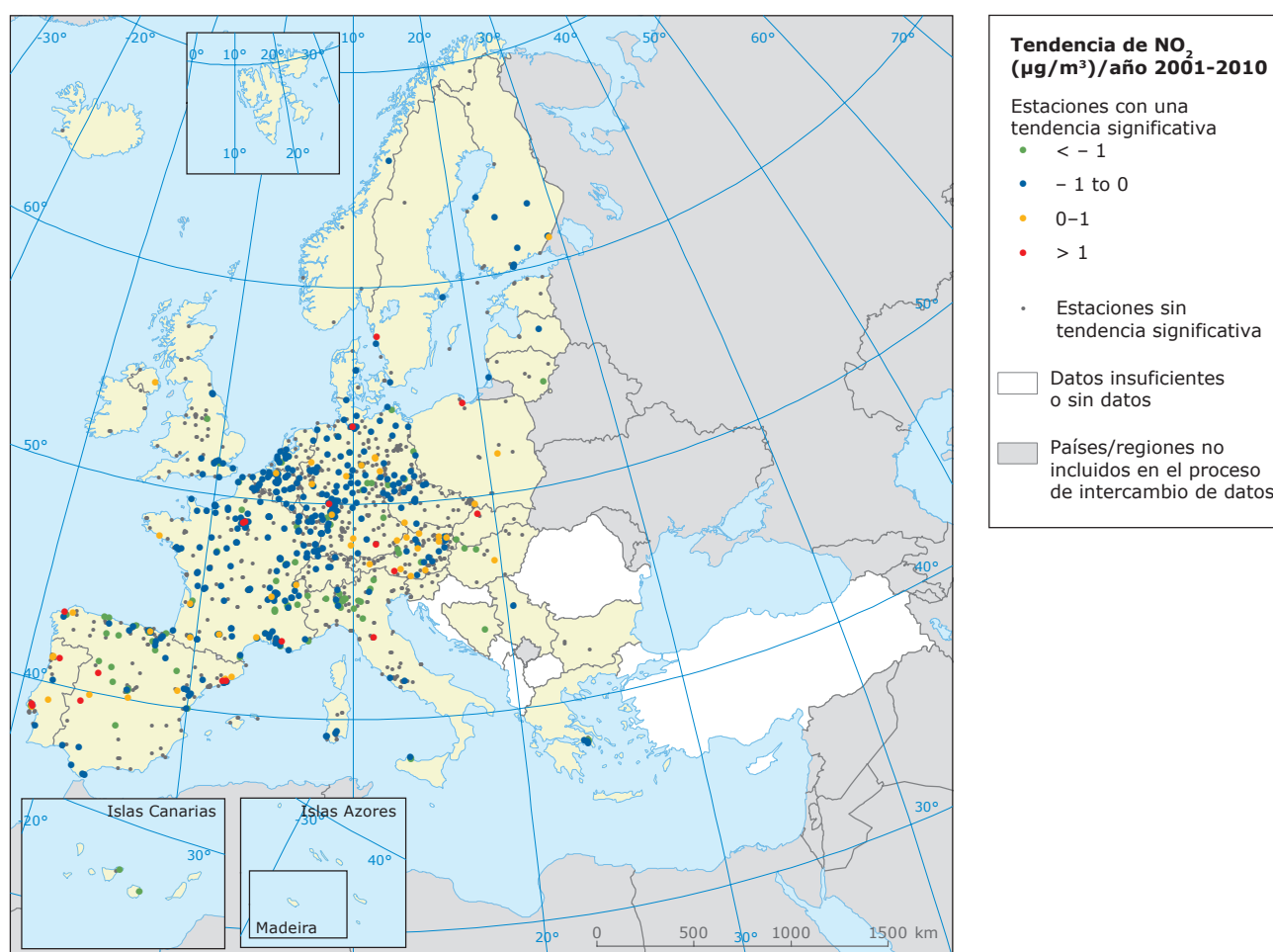
Estos hallazgos demuestran que las concentraciones de NO_2 deben reducirse sustancialmente en amplias zonas de Europa (centrándose en zonas de tráfico y zonas urbanas) para lograr el cumplimiento del valor límite anual. La superación de este objetivo es bastante

persistente: el 12% de las estaciones operativas en el periodo 2006-2010 en la UE mostraron casos de superación cada año. Se encontraron cifras similares en el periodo 2005-2009. Los casos de superación de larga duración se observan principalmente en las estaciones de tráfico (de Leeuw, 2012).

4.3.4. Tendencias en las concentraciones de NO_2 y NO_x

Las tendencias en las concentraciones de NO_2 y NO_x durante el periodo 2001-2010 se resumen en la Figura 4.3 y Mapa 4.2. Se utiliza un conjunto de estaciones tanto para el NO_2 como para el NO_x , aunque la distribución de las estaciones varía, condicionando su comparación. La serie temporal de concentración en la Figura 4.3 muestra un ligero descenso de las concentraciones medias anuales de NO_2 en todos los tipos de estación, con la excepción

Mapa 4.2. Variaciones de las concentraciones medias anuales de NO_2 en el periodo 2001-2010



Nota: Las tendencias estadísticamente significativas (nivel de significancia de 0,1) se calculan aplicando el test de Mann-Kendall. Las pendientes de tendencia se indican con puntos de color cuando son estadísticamente significativas. Los puntos rojos indican concentraciones cada vez mayores. El método aplicado se describe en de Leeuw, 2012.

Fuente: de Leeuw, 2012

de las concentraciones de NO_2 en los emplazamientos rurales. La caída proporcional en NO_x es mayor que la reducción en NO_2 , lo que se atribuye al aumento de las emisiones de NO_2 primarias de los vehículos diésel y al cambio en el estado fotoestacionario (Guerreiro *et al.*, 2010).

Emisiones de NO_x

Como muestra la Figura 2.6, las emisiones de NO_x en la UE se redujeron un 26% en el período 2001-2010 y un 1,4% entre 2009 y 2010. Sin embargo, el total de las emisiones de NO_x en 2010 fueron en torno a un 10% superiores al límite máximo de emisiones para la UE en su conjunto establecido en la Directiva 2001/81/CE (UE, 2001b) para ese año.

El transporte es el sector que más contribuye a las emisiones de NO_x , con un 48% del total de emisiones en 2010, seguido por el sector energético, que aporta el 20% del total (Figura 2.7). Estos dos sectores han reducido sustancialmente las emisiones desde 2001. En el período 2001-2010 las emisiones procedentes del transporte disminuyeron un 27% y las de la industria un 19%, mientras que las emisiones del sector energético disminuyeron un 17%. Las emisiones de NO_x por quema de combustible en comercios, instituciones y hogares y las procedentes del sector agrícola han disminuido sólo un 6% en el mismo período.

Las emisiones reales de los vehículos (a menudo denominadas “emisiones del mundo real”) pueden exceder el ciclo de pruebas de emisiones especificadas en las normas Euro sobre emisiones para cada tipo de vehículo. Este es particularmente el caso de las emisiones de NO_x de los vehículos diésel ligeros. Los Estados miembros de la UE actualizan periódicamente los factores de emisión utilizados en sus inventarios de emisiones y sus emisiones notificadas anteriormente. Por lo tanto, los avances notificados en emisiones deben incluir factores de emisiones “reales”.

Relación de las emisiones de NO_x y concentraciones de NO_2

Las emisiones de óxidos de nitrógeno comprenden principalmente NO , pero también incluyen algunas de NO_2 emitidas directamente, de las que los países no están actualmente obligados a informar como compuesto diferenciado de acuerdo a la legislación de la UE (UE, 2001b). Las concentraciones de NO_2 en el aire proceden tanto de NO_2 emitido directamente,

como de reacciones químicas que forman NO_2 en la atmósfera, fundamentalmente reacciones entre NO y O_3 (véase el Recuadro 3.1).

Un análisis de la AEMA sobre la distribución de fuentes incluida en la información presentada por dieciséis Estados miembros de la UE para una prórroga de los valores límite de NO_2 , refleja que la contribución media del tráfico urbano y local a los niveles de NO_2 , medidos en 74 zonas de tráfico urbano, es del 64%, variando entre el 33% (Essen) y el 91% (Catania). La mayor proporción de NO_2 en las emisiones de NO_x procedentes de los vehículos diésel podría derivar en un aumento de las concentraciones de NO_2 en las áreas expuestas al tráfico, así como posiblemente también en las zonas urbanas en general.

Las series temporales y las distribuciones de frecuencia de la Figura 4.3 muestran las diferentes tendencias en las concentraciones de NO_2 registradas en las estaciones rurales, urbanas y de tráfico⁽²⁰⁾. En ubicaciones urbanas la situación está relativamente clara: los niveles de NO_2 están disminuyendo en un 92% de las estaciones que registraron tendencia. En zonas de tráfico, las concentraciones de NO_2 están disminuyendo en un número menor de estaciones (80% de las estaciones de tráfico que registran tendencia). Estas tendencias reflejan el aumento de la proporción de NO_2 en las emisiones de NO_x procedentes del tráfico y el cambio en el estado fotoestacionario a favor de NO_2 que resulta en una disminución de NO_x sin una disminución equivalente de las concentraciones de O_3 (Guerreiro *et al.*, 2010). Probablemente estas son también las principales razones de la disminución mucho menor en las concentraciones de NO_2 medidas en Europa (disminución del 8% en las estaciones cerradas al tráfico) (véase la Figura 4.3) que la disminución de las emisiones de NO_x procedentes del transporte (disminución del 27% en la UE) entre 2001 y 2010.

El Mapa 4.2 muestra la distribución espacial de las tendencias de NO_2 en las estaciones entre 2001 y 2010, basándose en los mismos datos y análisis de tendencias que se presentan en la Figura 4.3. Aunque algunos países cuentan con grupos de estaciones que informaron de una tendencia al alza (por ejemplo, Austria), la mayoría de las regiones tienen estaciones con tendencias tanto al alza como a la baja, siendo más numerosas estas últimas. Es importante tener en cuenta que el número de estaciones con datos que abarcan el período 2001-2010 es muy bajo en algunas partes de Europa, sobre todo en zonas de Europa del Este y Escandinavia.

⁽²⁰⁾ Se utilizó un conjunto consistente de 1.467 estaciones con datos de 2001 a 2010 en el análisis de tendencias. De éstas, 529 estaciones registraron una tendencia (una tendencia significativa, mediante la prueba de Mann-Kendall). De las 529 estaciones con una tendencia, 248 eran estaciones de fondo urbano y 121 estaciones de tráfico

4.4. Exposición a la contaminación por NO₂ en Europa

4.4.1. Exposición humana

Los datos de seguimiento de NO₂ en AirBase proporcionan la base para estimar la exposición de la población europea a los casos de superación del valor límite medio anual de NO₂ de 40 µg/m³. La Figura 4.4 presenta los datos para el período 2001-2010, basándose en el NO₂ medido en las estaciones de seguimiento de fondo urbanas. Se calcula una concentración media para cada ciudad. Se considera que toda la población está expuesta a estas concentraciones, ya que la gente se mueve libremente dentro de la ciudad. La población cercana a zonas de tráfico está, en realidad, expuesta a mayores concentraciones de NO₂ que las áreas urbanas. Esto representa una subestimación del impacto estimado de la exposición. De acuerdo con este método, en 2010 alrededor del 7% la población urbana de la UE y de la AEMA-32 estuvo expuesta a NO₂ por encima del valor límite anual y las AQG de la OMS. La exposición

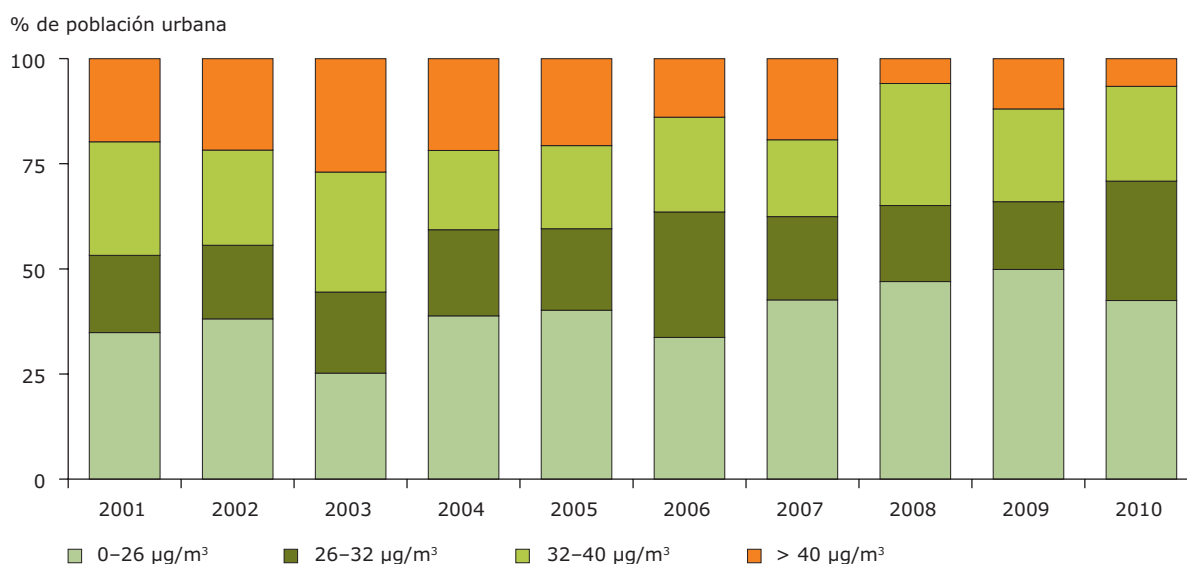
por encima del valor límite variaba entre el 6% y el 27% desde 2001, con los mismos porcentajes estimados para la AEMA-32. Hay una tendencia a la baja durante este período con una disminución también entre 2009 y 2010. El intervalo refleja en parte las variaciones causadas por la meteorología.

4.4.2. Exposición de los ecosistemas

Los compuestos de nitrógeno emitidos como NO_x y NH₃ son en estos momentos los principales componentes acidificantes y causantes también de eutrofización en ecosistemas sensibles. La eutrofización es el enriquecimiento con nutrientes, en este caso por nitrógeno atmosférico reactivo, que causa daños en los ecosistemas. La acidificación de los ecosistemas es causada, además de por NO_x y NH₃, por las emisiones de SO_x.

Los efectos de la acidificación y la eutrofización se estiman a través del concepto de "carga crítica": la capacidad del ecosistema para absorber los

Figura 4.4. Porcentaje de la población europea expuesta a concentraciones de NO₂ que superan el valor límite establecido para la protección de la salud humana, 2001-2010



Fuente: AEMA, 2012d (CSI 004)

contaminantes atmosféricos acidificantes y eutrofizantes depositados sin causar efectos negativos sobre el medio ambiente natural. La superación de las cargas críticas, determinadas espacialmente, supone un riesgo de daño. Los casos de superación se calculan basándose en los datos de medición y cálculos modelo⁽²¹⁾. La AEMA (2010a) mostró casos de superación de las cargas críticas calculadas para la acidez y nitrógeno nutriente en 2010⁽²²⁾. Los casos de alta superación de cargas críticas de acidez se evidenciaron en Bélgica, en la costa noroeste de Francia, los Países Bajos y Polonia. En el caso de la acidificación, la situación ha mejorado considerablemente y se prevé que mejore aún más. El área de ecosistemas sensibles en Europa en los que la carga crítica de acidez es superada, se estima que ha disminuido en más del 80%, en comparación con el año base 1990. Esta mejora se atribuye principalmente a la fuerte disminución de las emisiones de SO_x en las últimas dos décadas.

En cuanto a la eutrofización, los casos de superación calculados para 2010 se extienden a la mayor parte de Europa continental, así como a Irlanda y zonas del sur del Reino Unido y Suecia (AEMA, 2010a). El riesgo de eutrofización de los ecosistemas y su cobertura geográfica ha disminuido ligeramente en la última década y sigue siendo muy extendido en Europa, entrando en conflicto con el objetivo a largo plazo de la UE de no superar las cargas críticas de sustancias acidificantes y eutrofizantes atmosféricas en ecosistemas europeos (UE, 2001b; UE, 2002; CE, 2005b).

4.5. Respuestas

Los instrumentos legislativos más relevantes de la UE relacionados con las emisiones de NO_x y de las concentraciones de NO_x y NO₂ se refieren a las emisiones de vehículos de motor (normas Euro sobre emisiones) y las emisiones procedentes de la quema de combustible en la producción de la industria y la energía (las Directivas LCP e IPPC). Como se describe en las secciones anteriores, la legislación ha supuesto una reducción global de las emisiones de NO_x. Sin embargo, las emisiones “reales” de NO_x procedentes de los turismos diésel han disminuido muy poco en la última década (tanto las emisiones de los vehículos como las emisiones totales) y se considera que son la causa principal de los casos de superación del valor límite de NO₂ en toda la UE. La próxima norma Euro 6 se centrará en emisiones “reales”.

Como se explicó anteriormente, las concentraciones de NO₂ en la atmósfera y en localizaciones rurales, urbanas y de tráfico se originan, en parte, desde las emisiones directas de NO₂, y en parte de las emisiones de NO transformados en NO₂. Un efecto negativo de algunas tecnologías utilizadas en los vehículos diésel para cumplir con los límites de emisión Euro es que la fracción de las emisiones directas de NO₂ en el total de las emisiones de NO_x está aumentando.

Las respuestas de política para la mitigación de NO_x se presentan en la Sección 2.5. El uso de los planes de calidad del aire se describe en la Sección 2.5.4.

⁽²¹⁾ Los resultados se calcularon utilizando la base de datos de Cargas críticas de 2008 organizada por el Centro de Coordinación de Efectos (CCE). El Centro de Modelos de Evaluación Integrada (*Centre for Integrated Assessment Modelling*), en virtud del Convenio LRTAP en el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), proporcionó datos de deposición.

⁽²²⁾ Turquía no fue incluida en el análisis, ya que no hay datos suficientes para calcular las cargas críticas. En Malta no hay datos disponibles. Los territorios de Serbia y Montenegro se consideran como un área de cargas críticas/superaciones en el conjunto de datos CCE.

5 Dióxido de azufre (SO₂)

5.1. Fuentes y efectos del SO₂

5.1.1. Orígenes del SO₂ en el aire

El dióxido de azufre se emite al quemar combustibles que contienen azufre. La principal contribución del hombre al SO₂ ambiental procede de los combustibles fósiles y los biocombustibles que contienen azufre, que se utilizan para la calefacción de los hogares, la generación de energía estacionaria y el transporte. Los volcanes son la fuente natural más importante.

5.1.2. Efectos del SO₂

Los estudios epidemiológicos sugieren que el SO₂ puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación de los ojos. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y bronquitis crónica y aumenta la susceptibilidad de las personas a las infecciones del tracto respiratorio. La mortalidad y la hospitalización por enfermedad cardíaca aumenta en días con mayores niveles de SO₂ (OMS, 2008).

El dióxido de azufre es un precursor principal de PM_{2,5}, asociado con efectos sobre la salud, como los descritos en la Sección 2.1.

El dióxido de azufre y sus productos de oxidación contribuyen a la deposición ácida, causando efectos

adversos en los ecosistemas acuáticos en los ríos y lagos, daños a los bosques y acidificación de los suelos. Los principales efectos de la deposición de los compuestos de S son la pérdida de la capacidad de neutralización de ácidos en suelos y agua, la pérdida de nutrientes, como potasio o magnesio en los suelos y la liberación de aluminio tóxico al suelo y al agua. Dependiendo de las condiciones biogeoquímicas, el S puede almacenarse inicialmente en los suelos, con una posterior liberación lenta (acidificación aplazada). Por lo tanto, los efectos de las medidas de reducción de las emisiones de SO₂ se pueden retrasar décadas.

5.2. Normas europeas de calidad del aire para SO₂

La Tabla 5.1 presenta los valores límite de calidad del aire en Europa para el SO₂ definidos en la Directiva sobre calidad del aire de 2008 (UE, 2008c). Los valores se dan para la protección de la salud y la protección de la vegetación. Los valores límites para la protección de la salud se especifican para una exposición a corto plazo, para las medias de 1 hora y 24 horas. Los países estaban obligados a cumplirlos en el año 2005. También hay un valor umbral de alerta de 500 µg/m³. Cuando se supera más de tres horas consecutivas, las autoridades tienen que poner en marcha planes de acción. Como se muestra en la Tabla 5.2 (OMS, 2006), las directrices de calidad del aire de la OMS para el SO₂ son significativamente más estrictas que los valores límite establecidos por la Directiva sobre calidad del aire de 2008.

Tabla 5.1. Normas de calidad del aire para SO₂ definidas en la Directiva sobre calidad del aire de 2008

Objetivo	Periodo promediado	Valor límite o umbral	Nº de superaciones permitidas
Salud humana	Una hora	350 µg/m ³	24 horas al año
Salud humana	Un día	125 µg/m ³	3 días al año
Alerta ^(a)	Una hora	500 µg/m ³	
Vegetación	Un año	20 µg/m ³	
Vegetación	Invierno (1 octubre-31 marzo)	20 µg/m ³	

Nota: ^(a) Deberán medirse durante tres horas consecutivas en lugares representativos de la calidad del aire, en al menos 100 km² o en una zona o aglomeración entera, lo que sea menor.

Fuente: UE, 2008c.

Tabla 5.2. Directrices de calidad del aire de la OMS para SO₂

µg/m ³	Media de 10 minutos	Media de 24 horas
SO ₂	500	4020

Fuente: OMS, 2006

El Mapa 5.1 muestra las concentraciones medias anuales de SO₂ en 2010. Como en años anteriores, las concentraciones más altas y los casos de superación del valor límite anual para la protección de la vegetación se produjeron en los países occidentales de los Balcanes y Turquía, y en algunas estaciones de Silesia, en el sur de Polonia.

5.3. Encuesta europea sobre SO₂

5.3.1. Superación de los valores límite

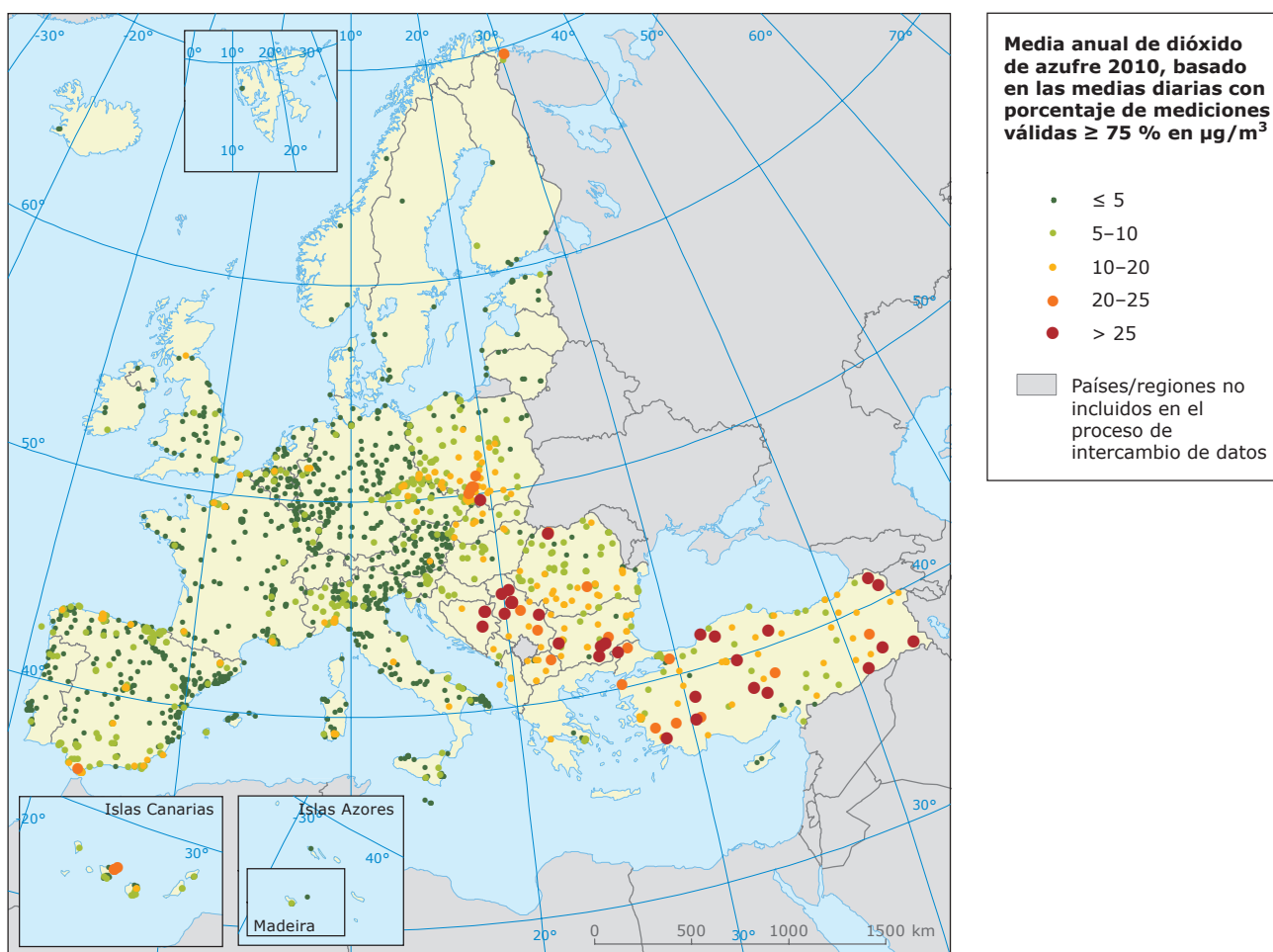
El valor límite horario para la protección de la salud humana sólo fue superado en 2010 en tres estaciones (todas urbanas), dos en Bulgaria y una en Rumanía. El valor límite diario se superó también en tres estaciones urbanas, en Bulgaria, Polonia y Rumania (Figura 5.2).

5.3.2. Distancia al objetivo

La figura 5.1 es el gráfico de distancia al objetivo para los valores límite diarios y horarios de SO₂ para la protección de la salud. Las concentraciones de SO₂ están muy por debajo de los valores límite, excepto en tres estaciones urbanas.

El valor límite establecido para la protección de la vegetación (20 µg/m³ media anual) se superó en el 1,1%

Mapa 5.1. Media anual de SO₂ (µg/m³), 2010



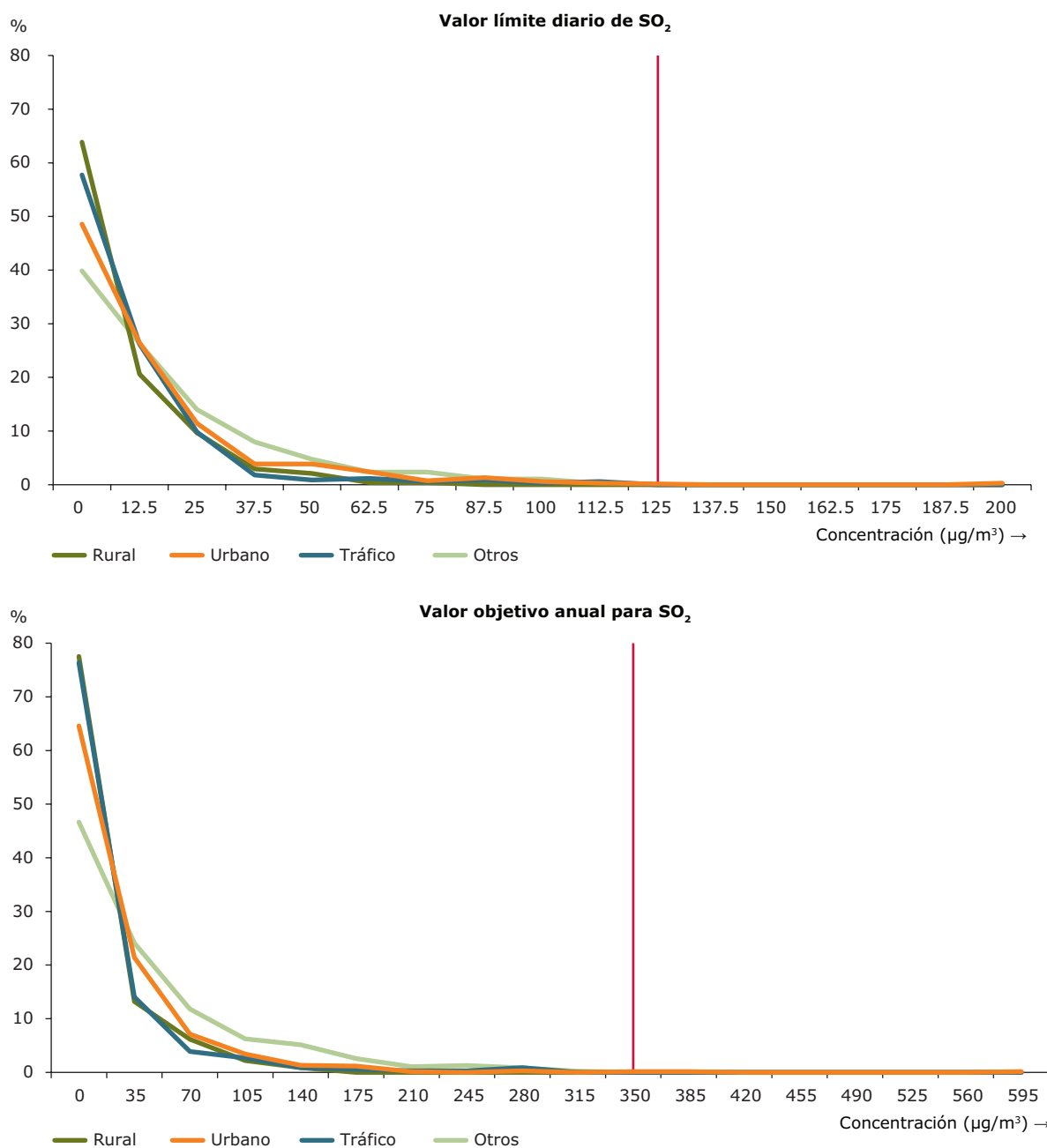
Nota: Los puntos naranja oscuro y rojos corresponden a las superaciones del valor límite anual (20 µg/m³) para la protección de la vegetación.

Fuente: AirBase v.6.

de las estaciones en la UE en 2010. Ninguno de estos casos de superación se produjo en zonas rurales, en las que es necesario proteger relativamente más vegetación que en las zonas urbanas. El valor límite para la

protección de la vegetación establecido para el período invernal ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), no se superó en las estaciones rurales, pero si en las urbanas (23), las de tráfico (6) y las industriales (8).

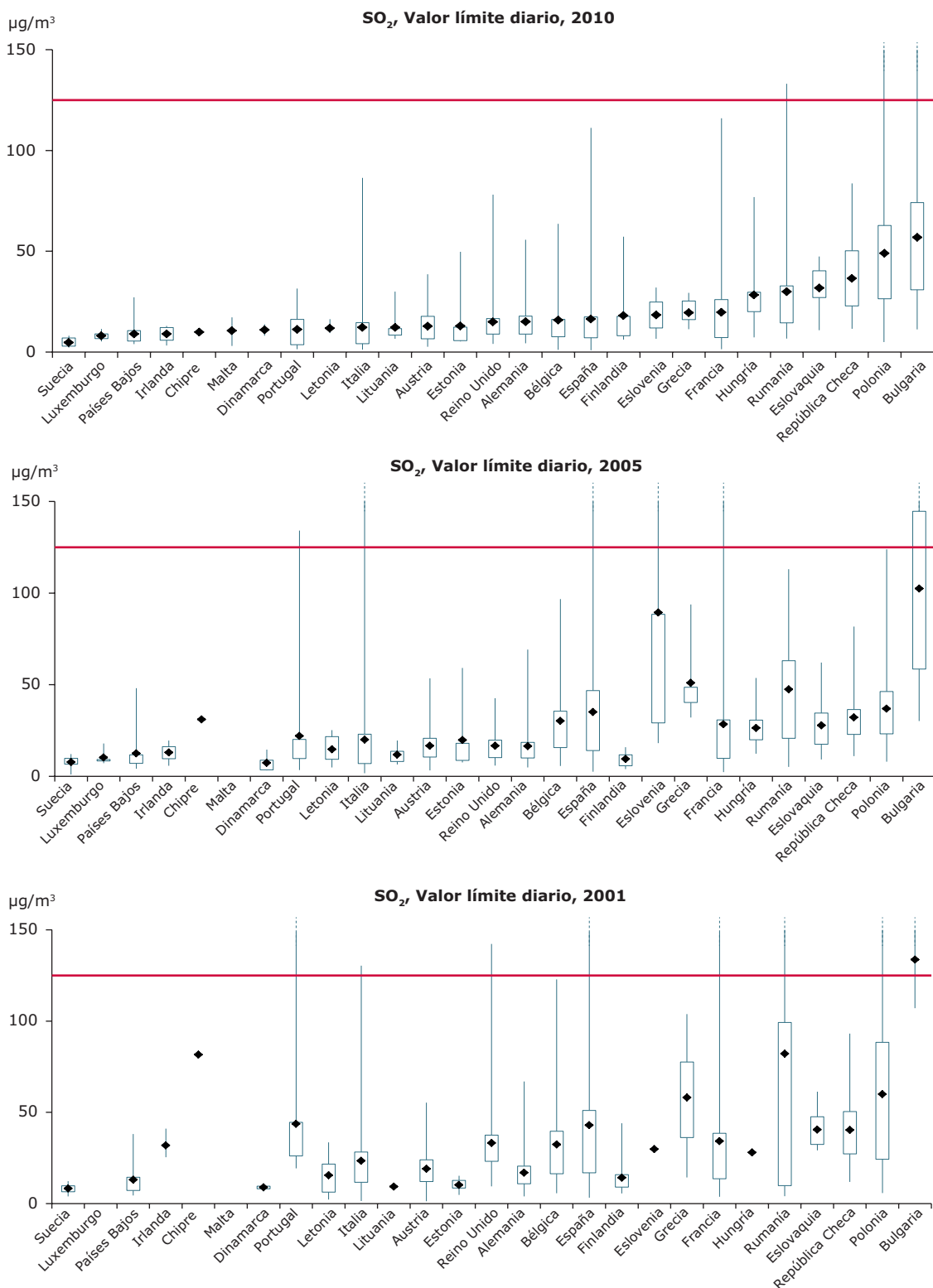
Figura 5.1. Gráfico de distancia al objetivo para los valores límite diarios (arriba) y horarios de SO_2 para la protección de la salud, 2010



Nota: Los gráficos muestran la distribución de frecuencia porcentual (en el eje y) en los Estados miembros de la UE frente a las diferentes clases de concentración (en el eje x, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Fuente: Airbase v.6.

Figura 5.2. Situación alcanzada con respecto al SO₂, años de referencia 2010, 2005, 2001



Nota: Los gráficos se basan en el percentil 99,2 de los valores diarios de la concentración media correspondiente a la 4ª media diaria más alta; presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en µg/m³) notificado oficialmente por los Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor límite establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).

El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior señala el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más bajos y el cuartil superior el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más altos.

Fuente: CTE/ACM

La Figura 5.2 muestra para todos los Estados miembros de la UE la superación del valor límite diario de SO_2 en 2010, 2005 y 2001. Demuestra que la superación del valor límite diario ha ido disminuyendo en número total y especialmente en Bélgica, Bulgaria, España, Francia, Grecia, Portugal y Rumania. El único país con datos de SO_2 correspondientes a 2001, 2005 y 2010, que registró una superación del valor límite diario de SO_2 en los tres años fue Bulgaria.

5.3.3. Tendencias en las concentraciones y emisiones de SO_2

Las concentraciones de SO_2 notificadas disminuyeron de manera constante en el período 2001-2010 (Figura 5.3), con una caída media de cerca de la mitad respecto a sus valores iniciales. En casi todas las estaciones de fondo urbanas y de tráfico se observa una tendencia significativa (de Leeuw, 2012). Durante este período, la concentración media en las estaciones de tráfico era de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayor que en las estaciones de fondo urbano, disminuyendo a $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010, lo que sugiere que la contribución a las emisiones de SO_2 del tráfico rodado es pequeña y decreciente.

Las emisiones de SO_2 de la UE han disminuido sustancialmente desde 2001 (Figura 2.6). Las emisiones totales de la UE en 2010 fueron un 54% menores que en 2001. La reducción de las emisiones de SO_2 de

la AEMA-32 en el mismo período fue del 44%. Las emisiones de dióxido de azufre de la UE en 2010 fueron aproximadamente un 40% inferiores al techo máximo de emisiones agregadas establecidas para 2010 en la Directiva 2001/81/CE. Las concentraciones de SO_2 observadas se redujeron un 54% en las estaciones de tráfico durante el período 2001-2010, y un 46% y un 38% en las estaciones urbanas y rurales, respectivamente (Figura 5.3). Estos datos se corresponden bien con las reducciones de emisiones notificadas.

El sector energético sigue siendo la fuente que más contribuye a las emisiones de SO_x , con el 59% de las emisiones de la UE en 2010 (Figura 2.7), aunque sus emisiones se han reducido un 53% desde 2001. El siguiente sector más importante es la industria, con un 25% de las emisiones de la UE en 2010 y con una reducción del 29% de sus emisiones entre 2001 y 2010.

5.4. Exposición a la contaminación por SO_2 en Europa

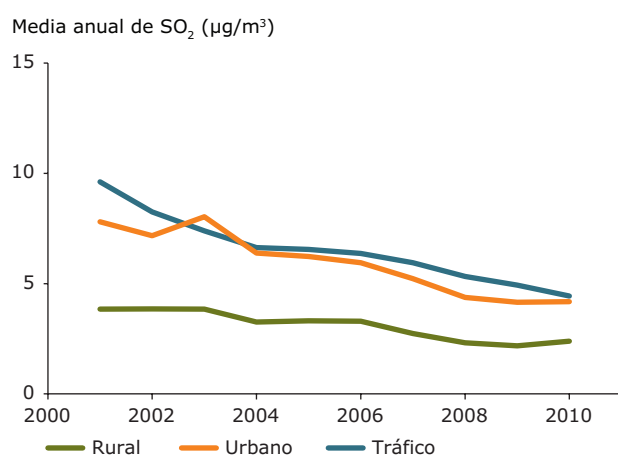
5.4.1. Exposición humana

Los datos de seguimiento de SO_2 de AirBase proporcionan la base para estimar la exposición de la población europea a casos de superación del valor límite de SO_2 de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media diaria, que no podrá superarse más de tres días en un año y debe lograrse en 2005. Este análisis para el período 2001-2010 en la UE se muestra en la Figura 5.4. La exposición se calcula sobre la base de SO_2 medido en localizaciones urbanas. Se considera que toda la población está expuesta a estas concentraciones, ya que la gente se mueve libremente dentro de la ciudad. Se calcula una concentración media para cada ciudad.

En 2010 ninguna parte de la población urbana de la UE (y el 1,6% de la población urbana de la AEMA-32) estuvo expuesta a SO_2 por encima del valor límite promedio de 24 horas, que incluye una derogación de 3 días de casos de superación por año (Figura 5.4). El grado de exposición por encima de este valor límite ha variado en la UE y en la AEMA-32 entre cero y 4% desde 2001. Hay una tendencia a la baja durante este período. El intervalo refleja en parte las variaciones causadas por la meteorología. Las estaciones de seguimiento que midieron las concentraciones de SO_2 por encima de los valores límite son en su mayoría estaciones industriales.

La población urbana de la UE expuesta a niveles de SO_2 superiores a las AQG de la OMS fue significativamente mayor en el año 2010, afectando al 58% de la población urbana total. Este porcentaje ha disminuido de 84 a 58% entre 2001 y 2010 (Figura ES.2).

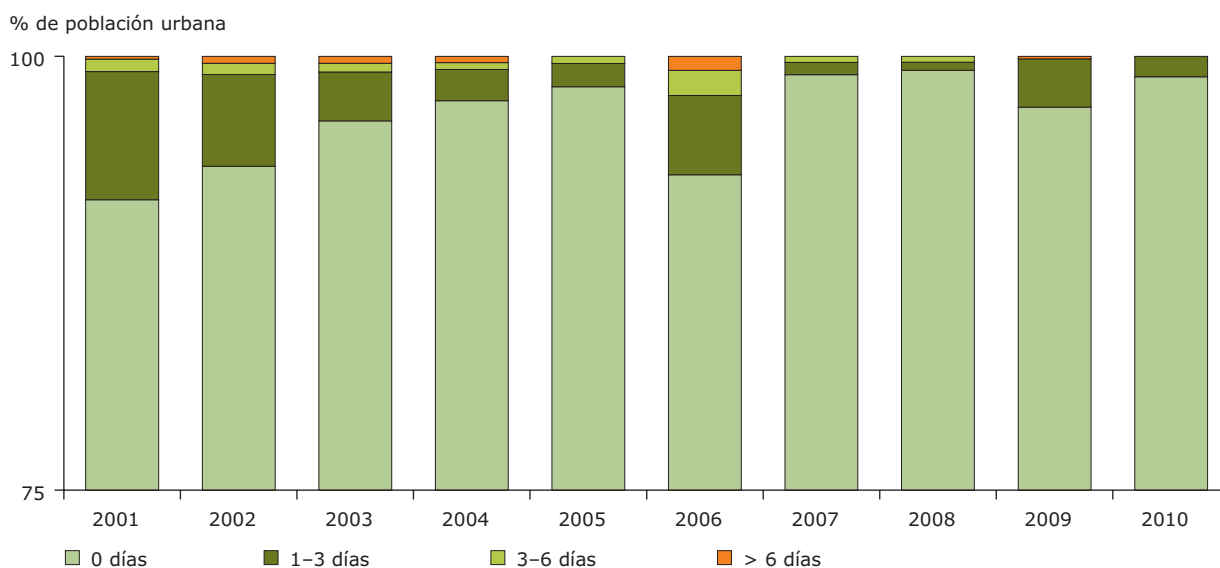
Figura 5.3. Tendencia en las concentraciones medias anuales de SO_2 (2001-2010) por tipo de estación



Nota: Se incluyeron en el análisis todas las estaciones en los Estados miembros, con al menos un 75% de cobertura de datos durante al menos ocho años. Las concentraciones por tipo de estación se ofrecen en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Existe un sesgo geográfico hacia el centro de Europa en el diagrama, con una mayor densidad de estaciones.

Fuente: CTE/ACM

Figura 5.4. Porcentaje de la población urbana de la UE expuesta a concentraciones SO₂ por encima del valor límite diario medio para la protección de la salud humana, 2001-2010



Fuente: AEMA, 2012d (CSI 004)

5.4.2. Exposición de los ecosistemas

Las emisiones de dióxido de azufre y la deposición posterior de S (a través de su deposición húmeda o seca) contribuyen a la acidificación del medio ambiente natural. La exposición de los ecosistemas europeos a compuestos acidificantes se describía en la Sección 4.4.2, en la que también se discutió la superación estimada de las cargas críticas de acidez.

5.5. Respuestas

Las directivas más importantes para la reducción de SO₂ en el aire son las que se refieren a las emisiones procedentes de la combustión de los combustibles en las centrales eléctricas y la industria, es decir, las Directivas relativas a GIC (Grandes instalaciones de combustión) e IPPC (UE, 2001a y UE, 2008b). Las

directivas propiciaron una reducción significativa de las emisiones de SO_x procedentes de estas fuentes.

La Directiva relativa al contenido de azufre de los combustibles líquidos (UE, 1999b) ha limitado el contenido de azufre del fuelóleo pesado y gasóleo desde 2003, contribuyendo a la reducción de las emisiones de SO₂ y a las posteriores reducciones de concentración.

La Directiva relativa a la calidad de los combustibles (UE, 2003) limita el contenido de azufre en los combustibles desde los 150 mg/kg para la gasolina y 350 mg/kg para el diésel permitidos antes de 2005 a 50 mg/kg en ambos casos a partir de 2005 y a 10 mg/kg a partir de 2009. Los planes de calidad del aire, como se describen en la Sección 2.5.4, son instrumentos de política adicionales para reducir la exposición a SO₂.

6 Monóxido de carbono (CO)

6.1. Fuentes y efectos del CO

6.1.1. Orígenes de CO en el aire

El monóxido de carbono es un gas emitido por la combustión incompleta de combustibles fósiles y biocombustibles. El transporte por carretera solía emitir cantidades significativas de CO, pero la introducción de convertidores catalíticos redujo estas emisiones de manera significativa. Las concentraciones de CO tienden a variar con los patrones de tráfico durante el día. Los niveles más altos de CO se encuentran en zonas urbanas, por lo general durante las horas pico en los lugares de tráfico.

6.1.2. Efectos sobre la salud de CO

El monóxido de carbono entra en el cuerpo a través de los pulmones. En la sangre, está fuertemente unido a la hemoglobina. La exposición al CO puede reducir la capacidad de transportar oxígeno de la sangre, lo que reduce el suministro de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo. Los que sufren de enfermedades cardiovasculares son los más sensibles a la exposición al CO. Estas personas ya tienen una capacidad reducida para bombear sangre oxigenada al corazón, lo que puede causarles isquemia miocárdica (reducción de oxígeno al corazón), a menudo acompañada de angina de pecho (dolor en el pecho), al hacer ejercicio o bajo estrés. La exposición breve a CO afecta aún más su ya comprometida capacidad corporal de responder a las demandas de oxígeno debidas al ejercicio o esfuerzo. A niveles muy altos, el CO puede causar la muerte.

El tiempo de vida atmosférica de CO es de aproximadamente tres meses. Poco a poco se oxida a CO₂, también formando O₃ durante este proceso de oxidación. Por lo tanto, el CO contribuye a la concentración de fondo de O₃ atmosférico, con efectos asociados sobre la salud y los ecosistemas.

6.2. Normas europeas de calidad del aire para CO

La Tabla 6.1 establece el valor límite de la calidad del aire europeo y las directrices de calidad del aire de la OMS para el CO. El valor límite europeo para la protección de la salud es la media máxima permitida octohoraria, que debía alcanzarse en 2005.

6.3. Encuesta europea sobre CO

6.3.1. Superación de los valores límite

Once de 1.159 estaciones de trabajo, con más del 75% de cobertura de datos en los países de la AEMA-32, informaron de casos de superación del valor límite de CO: tres estaciones de tráfico, seis estaciones de fondo urbanas y dos estaciones industriales, ubicadas en Alemania, Austria, Bulgaria, Bosnia y Herzegovina, Italia, Montenegro, Serbia y Suecia. El ejemplo de superación en Suecia se debió a un evento de coches clásicos en Estocolmo durante un fin de semana.

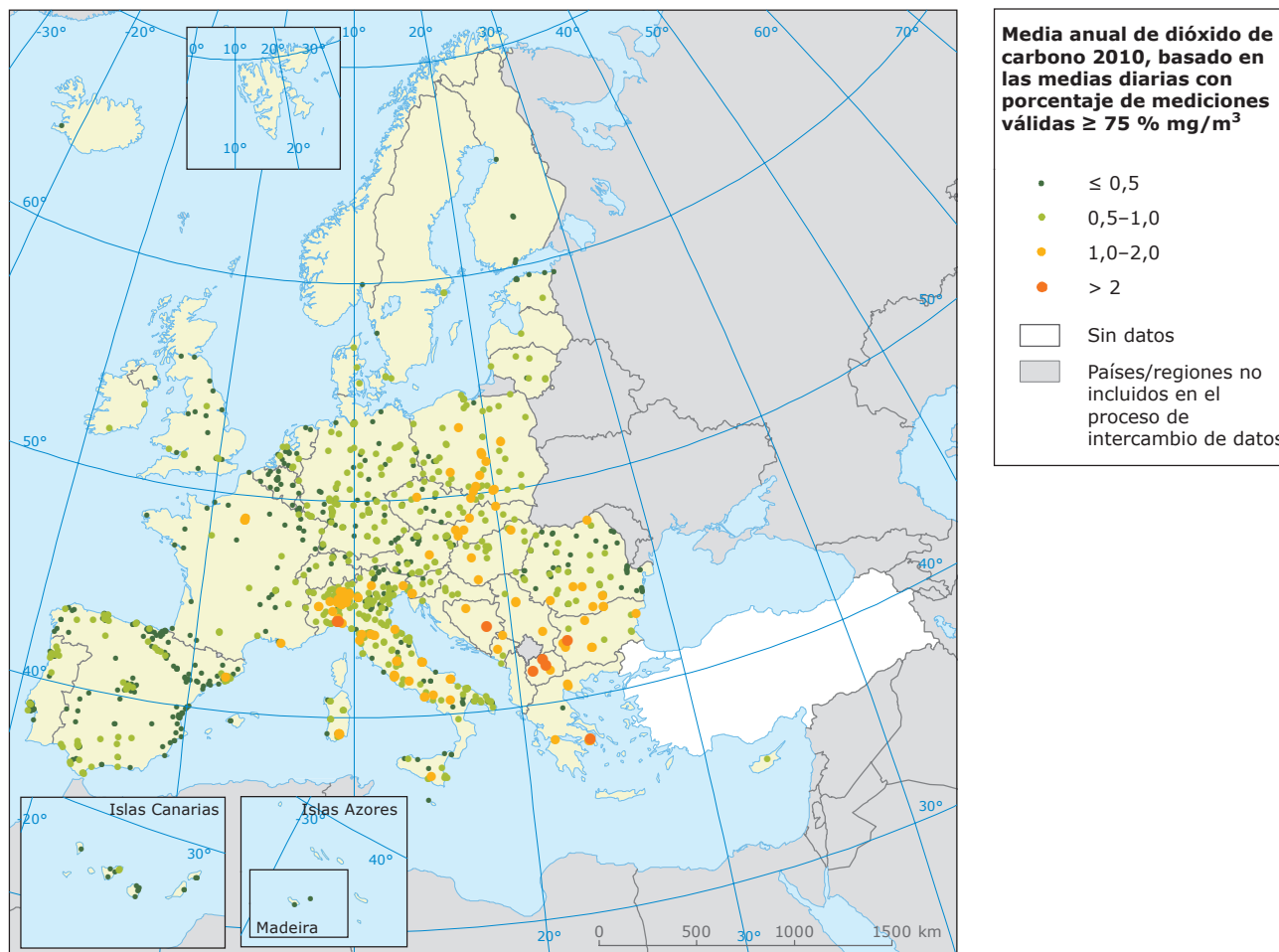
Las medias anuales de la máxima diaria octohoraria (Mapa 6.1) muestran niveles elevados en algunos de esos países.

Tabla 6.1. Valor límite de la calidad del aire establecido por la Directiva de calidad del aire y por las Directrices de calidad del aire de la OMS para CO

CO µg/m ³	Horario	Media octohoraria
UE	-	10
OMS	30	10

Fuente: UE, 2008c; OMS, 2006

Mapa 6.1. Media anual de concentraciones máximas diarias octohorarias de CO, 2010



Fuente: AirBase v.6.

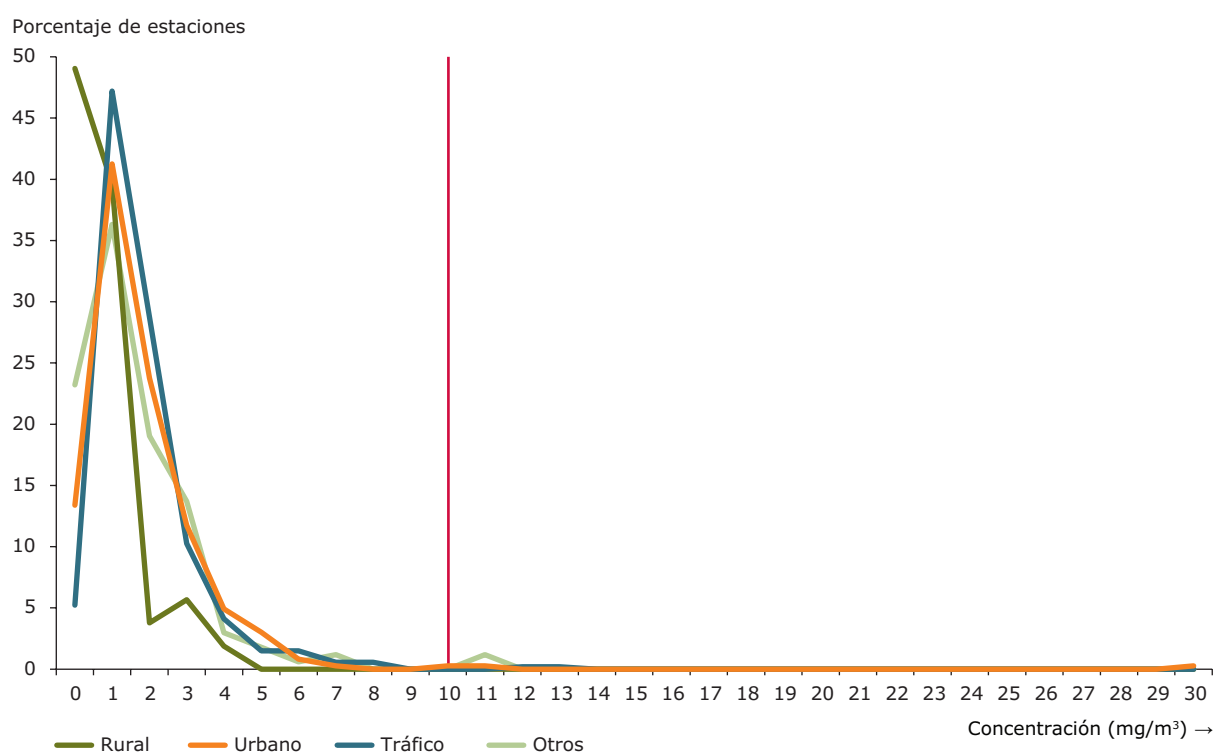
6.3.2. Distancia al objetivo

La Figura 6.1 muestra que, con la excepción de muy pocas estaciones, las concentraciones medidas de CO en Europa están muy por debajo del valor límite.

La Figura 6.2 muestra para todos los Estados miembros de la UE la situación del valor máximo de la media diaria octohoraria de CO para 2010, 2005 y 2001. Se observa que en cinco países miembros de la UE se produjo en 2010 una superación del valor límite de la UE y de las AQG de la OMS. El único país, con datos de CO para 2001, 2005 y 2010, que registró una superación del valor límite en los tres años fue Italia.

En contraste con la situación para el valor límite anual de NO₂, los casos de superación son esporádicos. En los últimos cinco años, el valor límite se ha superado durante tres años en dos estaciones; en seis estaciones adicionales, la superación se produjo durante dos años (de Leeuw, 2012).

Figura 6.1. Gráfico de distancia al objetivo para el valor límite de CO, 2010

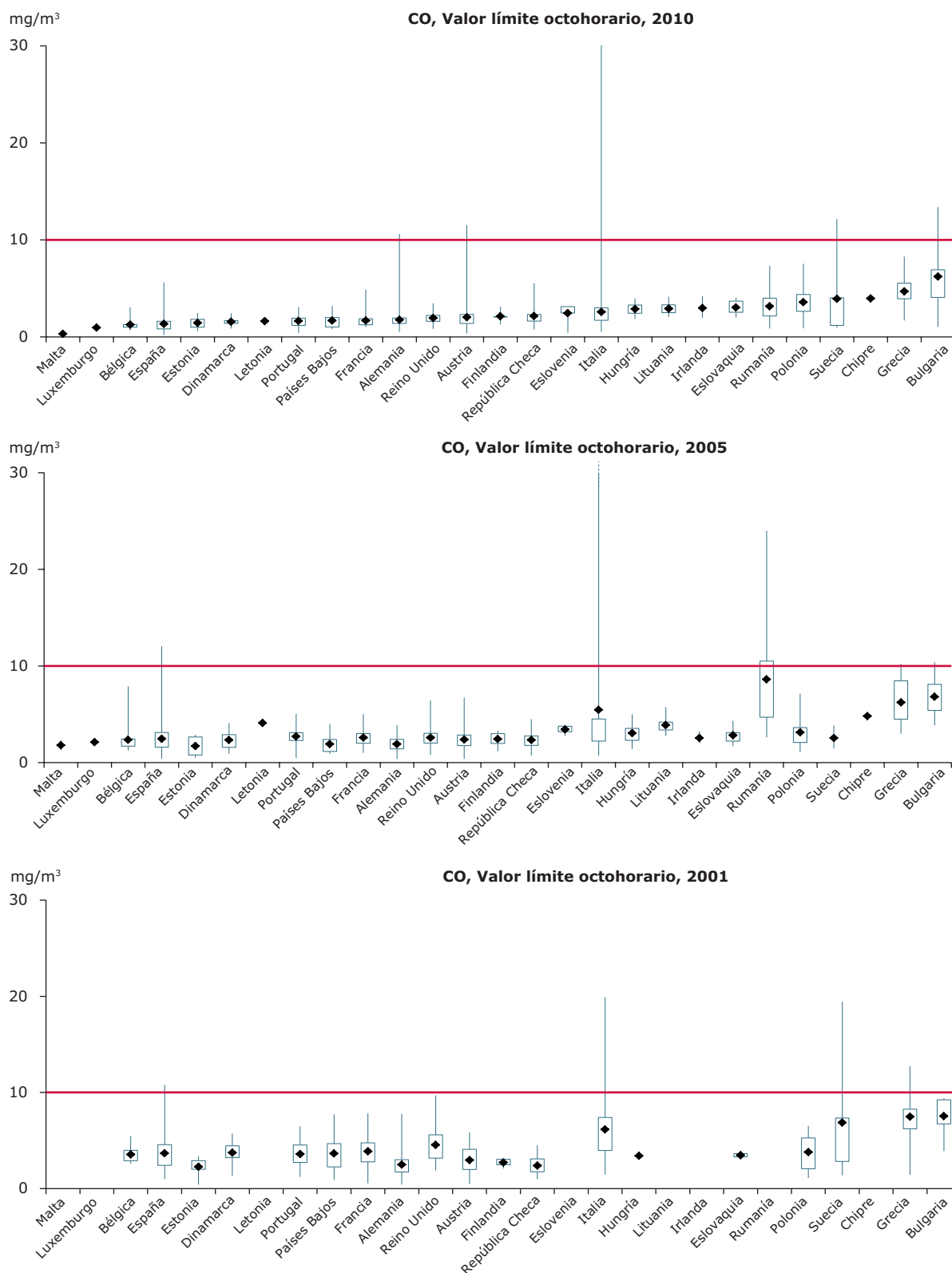


Nota: El gráfico muestra la distribución de frecuencia porcentual (en el eje y) en los Estados miembros de la UE frente a las diferentes clases de concentración (en el eje x, en mg/m³).

La línea vertical corresponde al valor límite establecido por la legislación de la UE.

Fuente: AirBase v.6.

Figura 6.2. Situación alcanzada con respecto al CO, años de referencia 2010, 2005, 2001

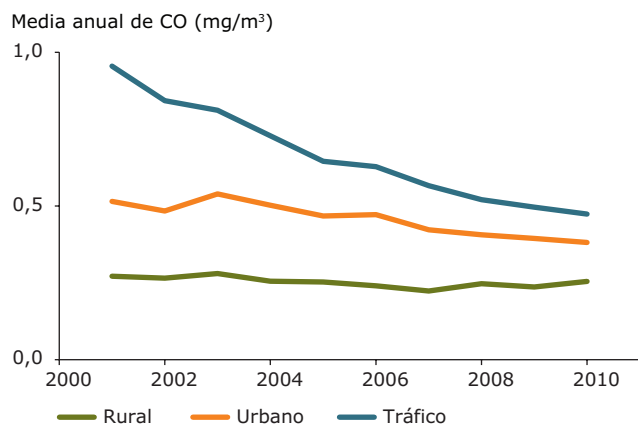


Nota: Los gráficos se basan en los valores de la concentración media octohoraria; presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en mg/m³) notificado oficialmente por los Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor límite establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).

El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior señala el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más bajos y el cuartil superior el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más altos.

Fuente: CTE/ACM

Figura 6.3. Tendencia en la concentración media anual de CO (2001-2010) por tipo de estación



Nota: Se incluyeron en el análisis todas la estaciones en los Estados miembros, con al menos un 75% de cobertura de datos durante al menos ocho años. Las concentraciones por tipo de estación se dan en mg/m³. Existe un sesgo geográfico hacia el centro de Europa en los diagramas, con una mayor densidad de estaciones.

Fuente: CTE/ACM

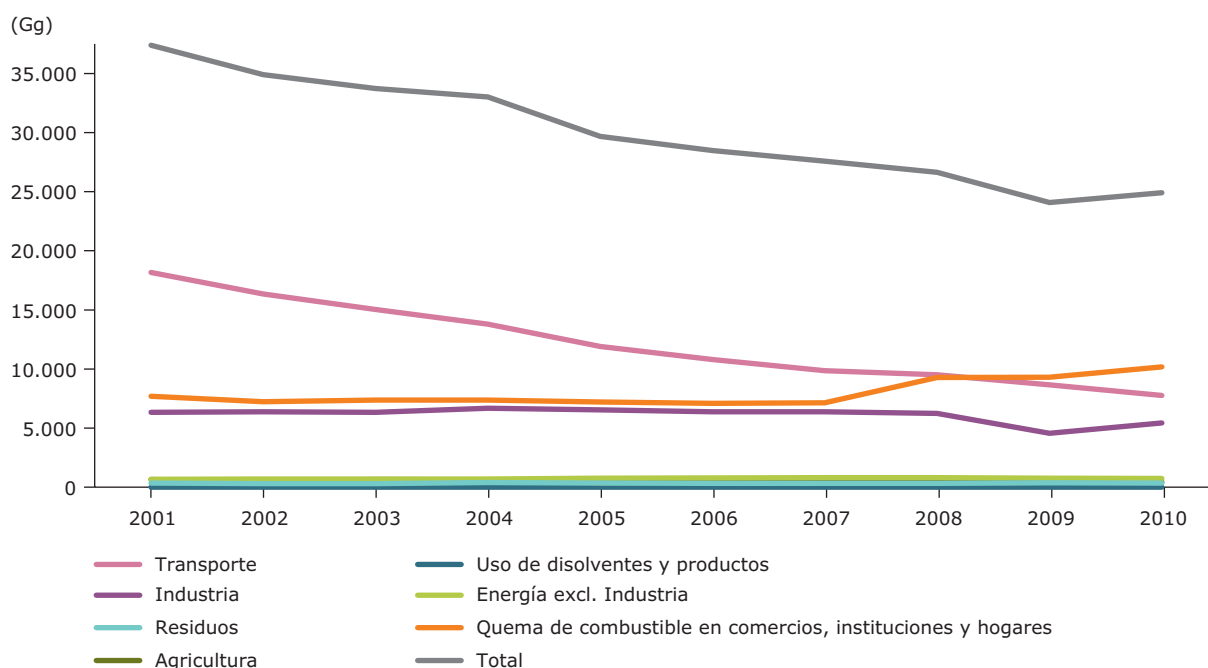
6.3.3. Tendencias en las concentraciones de CO

Más del 80% de las estaciones de fondo urbanas y de tráfico muestran una tendencia a la baja. En un número limitado de estaciones rurales (18 en total) las tendencias son menos claras (de Leeuw, 2012).

La Figura 6.3 muestra la evolución de la concentración media anual de CO en cada tipo de estación entre 2001 y 2010. Cabe señalar que el CO - más que cualquiera de los otros contaminantes - se mide normalmente en estaciones de tráfico (más del 50% de las estaciones son estaciones de tráfico), ya que el tráfico es su causa principal de superación. La Figura 6.3 confirma que las concentraciones de CO son, de media, más altas en las estaciones de tráfico, frente a las estaciones de fondo urbanas. También muestra una clara tendencia decreciente de las concentraciones medias de CO medidas en las estaciones de tráfico y urbanas. La reducción media anual de las concentraciones medias de CO medidas en las estaciones de tráfico fue del 50% entre 2001 y 2010, y del 26% en las estaciones urbanas.

La concentración en las estaciones rurales es muy baja, cerca del límite de detección. En estas estaciones hay una gran contribución del fondo hemisférico de CO.

Figura 6.4. Emisiones totales de CO (Gg/año = 1.000 toneladas/año) y contribuciones de las principales fuentes en la UE



Fuente: AEMA – Visor de datos de emisiones de contaminantes atmosféricos (Convenio LRTAP).

La reducción de emisiones de CO en el período 2001-2010 fue del 33% en la UE y del 35% en la AEMA-32 (Figura 6.4). La quema de combustible en comercios, instituciones y hogares fue la fuente más grande de CO en 2010, tras la reducción muy significativa de las emisiones del sector del transporte que han resultado de la aplicación de las normas Euro sobre emisiones.

Las reducciones observadas en las concentraciones de CO en el período 2001-2010 (con una disminución media del 50% en las estaciones de tráfico, del 26% en las estaciones de fondo urbanas y del 6% en las estaciones rurales) están en consonancia con la reducción notificada de las emisiones totales de cerca del 33% durante el mismo período. Las concentraciones de CO son ahora muy bajas la mayor parte del tiempo y las incertidumbres relativas a los instrumentos de medición en estos niveles afectan a la exactitud de las concentraciones medidas, y por lo tanto también a la exactitud de las estimaciones de tendencia.

6.4. Exposición a la contaminación por CO en Europa

Sobre la base de las mediciones disponibles, se puede concluir que la exposición de la población europea a las concentraciones ambientales de CO por encima del valor límite (8 horas máximo) está muy localizada y es poco frecuente, limitada a muy pocas áreas, cerca del tráfico y la industria.

6.5. Respuestas

Las emisiones de monóxido de carbono se rigen principalmente por la Directiva IPPC (UE, 2008b) que ha sido sustituida por la Directiva sobre emisiones industriales (UE, 2010b) y las normas Euro sobre emisiones para vehículos de motor, que establecen los límites de emisión de CO para vehículos diésel y gasolina (véase el Anexo 2). Los límites de emisión se han reducido a la mitad desde principios de 1990. En el mismo período, las emisiones de CO procedentes del transporte se han reducido más del 75%. El sector que en estos momentos contribuye más a la emisión de CO es la calefacción de los hogares, actualmente sin regulación con respecto a dichas emisiones y en aumento desde 2007 (Figura 6.4).

7 Metales pesados

El arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) son contaminantes atmosféricos comunes, emitidos principalmente como resultado de diversas actividades industriales y de la combustión de carbón. Aunque los niveles atmosféricos son bajos, contribuyen a la deposición y acumulación de contenidos de metales pesados en suelos, sedimentos y organismos. Los metales pesados son persistentes en el medio ambiente y algunos se bioacumulan, es decir, se acumulan en los organismos, en las cadenas alimentarias.

La exposición al arsénico se asocia a un mayor riesgo de cáncer de piel y de pulmón. El cadmio está asociado a daño renal y óseo, y también ha sido identificado como un posible carcinógeno humano, causando cáncer de pulmón. Las exposiciones a plomo tienen efectos sobre el desarrollo y conducta neuronal de fetos, bebés y niños, y elevan la presión arterial en los adultos. El mercurio es tóxico en las formas elementales e inorgánicas, pero la principal preocupación se refiere a sus compuestos orgánicos, especialmente el metilmercurio. Se acumula en la cadena alimentaria, por ejemplo en peces predadores de lagos y mares y pasa a través de la ingesta a los seres humanos. El níquel es un carcinógeno conocido, y también tiene otros efectos no cancerosos, por ejemplo en el sistema endocrino.

La contaminación atmosférica es sólo una fuente de exposición a estos metales, pero su persistencia y potencial transporte atmosférico a larga distancia significa que las emisiones atmosféricas de metales pesados afectan incluso a las regiones más remotas (OMS, 2007).

7.1. Fuentes y efectos de los metales pesados

7.1.1. As

Orígenes del arsénico en el aire

El arsénico se emite a la atmósfera a partir de fuentes naturales y antropogénicas. La mayoría de las emisiones humanas proceden de las fundiciones de metal y de la combustión de combustibles. Los pesticidas solían ser una fuente importante, pero

su importancia disminuyó como resultado de las restricciones en varios países. El humo del tabaco puede contener As y por lo tanto ser una fuente de exposición en el aire ambiente.

El arsénico en el aire es generalmente una mezcla de As y arseniato, con variedades orgánicas de importancia insignificante, excepto en las zonas donde hay aplicación sustancial de As metilado como pesticida.

Efectos del arsénico

La absorción oral de As, a través de alimentos y agua potable, es generalmente la vía más importante de exposición. Su inhalación normalmente contribuye en menos del 1% a la dosis total. Los efectos no cancerígenos de la inhalación de aire con altos niveles de As incluyen el aumento de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares, neuropatía y gangrena de las extremidades. Existen pruebas de que los compuestos inorgánicos de As son carcinógenos de piel y pulmón en seres humanos. El cáncer de pulmón es el efecto crítico tras la exposición por inhalación.

El arsénico es altamente tóxico para los organismos acuáticos y también muy tóxico para los animales en general. El crecimiento de las plantas y los rendimientos de los cultivos pueden verse reducidos cuando el contenido de As en el suelo es alto. Los compuestos orgánicos de As son muy persistentes en el medio ambiente y se bioacumulan en la cadena alimentaria.

7.1.2. Cd

Orígenes del Cd en el aire

El cadmio se libera a la atmósfera a partir de fuentes naturales y antropogénicas. Los volcanes, las partículas llevadas por el viento y las emisiones biogénicas se consideran las principales fuentes naturales de Cd en la atmósfera. Las fuentes antropogénicas de Cd incluyen la producción de metales no ferrosos, la combustión fija de combustibles fósiles, la incineración de residuos, la producción de hierro y acero y la producción de cemento.

Efectos del Cd

Los alimentos son la principal fuente de exposición al Cd en la población general, lo que representa más

del 90% del consumo total en los no fumadores. En las zonas muy contaminadas, el polvo resuspendido puede ser una parte sustancial de la exposición de la población local.

En Europa, la contaminación del aire y los fertilizantes minerales y orgánicos contribuyen casi de la misma manera a la exposición anual. Aumentan las acumulaciones relativamente grandes de Cd en la capa superior del suelo, aumentando así el riesgo de una futura exposición a través de los alimentos. Los niveles de Cd en los no fumadores no han disminuido durante la última década.

Los riñones y los huesos son los órganos fundamentalmente afectados por la exposición crónica ambiental al Cd. Los principales efectos incluyen insuficiencia renal y aumento del riesgo de osteoporosis. También se ha observado un aumento del riesgo de cáncer de pulmón después de la exposición a su inhalación en ambientes laborales.

El cadmio es tóxico para la vida acuática, ya que se absorbe directamente por los organismos en el agua. Interactúa con los componentes celulares, causando efectos tóxicos en las células de todos los organismos. También puede producir cáncer de pulmón en seres humanos y animales a través de la inhalación. El cadmio es muy persistente en el medio ambiente y se bioacumula.

7.1.3. *Pb*

Orígenes del Pb en el aire

El plomo se emite a la atmósfera a partir de fuentes naturales y antropogénicas. Las emisiones naturales incluyen normalmente el polvo del suelo y el rocío del mar que contiene plomo, así como partículas que se encuentran en las cenizas de los volcanes y los incendios forestales. Estas emisiones no son del todo naturales, pero contienen algunos depósitos de Pb antropogénico. Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de Pb en una escala global incluyen la combustión de combustibles fósiles procedentes de, por ejemplo, el tráfico, la eliminación de residuos y la producción de metales no ferrosos, hierro, acero y cemento. La contribución de la gasolina a las emisiones de plomo se ha eliminado en Europa. A ello le siguió la eliminación total a través de la legislación y la completa aceptación de la gasolina sin plomo.

Efectos de Pb

El plomo es un metal neurotóxico que también se acumula en el cuerpo y causa daños a los órganos, como los riñones, el hígado, el cerebro y los nervios. La exposición a altos niveles causa daños cerebrales

graves, como retraso mental, trastornos de conducta, problemas de memoria y cambios de humor. El deterioro del desarrollo neurológico en los niños es el efecto más crítico. La exposición en el útero, durante la lactancia o en la primera infancia puede conllevar estos problemas de salud. El plomo se acumula en el esqueleto, que es potencialmente peligroso durante el embarazo. Por lo tanto, la exposición previa de una mujer antes del embarazo es importante.

La exposición por inhalación puede ser significativa cuando los niveles de Pb en el aire son altos. Las exposiciones elevadas se deben generalmente a fuentes locales en lugar de ser el resultado del transporte a larga distancia. Muy a menudo, la comida es la fuente predominante de absorción de Pb en la población. Sin embargo, la contaminación atmosférica puede contribuir significativamente al contenido de Pb en los cultivos, a través de la deposición directa. Aunque la absorción a través de las raíces de las plantas es relativamente limitada, el aumento de los niveles de Pb en los suelos a largo plazo es motivo de preocupación y debe abordarse debido a los posibles riesgos para la salud de la exposición a bajos niveles de Pb.

El plomo se bioacumula y afecta negativamente tanto a los sistemas terrestres y acuáticos. Al igual que con los seres humanos, los efectos sobre la vida animal incluyen problemas de reproducción y cambios en la apariencia o el comportamiento.

7.1.4. *Hg*

Orígenes de Hg en el aire

La principal fuente antropogénica de emisiones atmosféricas de Hg a escala mundial es la combustión de carbón y otros combustibles fósiles. Otras fuentes incluyen la producción de metales, la producción de cemento, la eliminación de residuos y la cremación. Además, la producción de oro contribuye significativamente a las emisiones atmosféricas globales de mercurio. Las principales fuentes naturales de emisiones de Hg son la dispersión desde el manto de la Tierra a través de la litosfera, la evaporación desde la superficie del mar y la actividad geotérmica. El mercurio emitido en formas inorgánicas se convierte biológicamente en metilmercurio en el suelo y el agua.

Efectos de Hg

El mercurio puede dañar el hígado, los riñones y el sistema digestivo y respiratorio. También puede causar daños cerebrales y neurológicos y perjudicar el crecimiento. El metilmercurio es un potente neurotóxico. Los niños no nacidos son el grupo de población más vulnerable.

El mercurio se bioacumula y afecta negativamente tanto a los sistemas terrestres y acuáticos. Puede afectar a animales de la misma manera que a los seres humanos y es muy tóxico para la vida acuática.

7.1.5. Ni

Orígenes del Ni en el aire

El níquel es un metal traza que se produce en el suelo, el agua, el aire y en la biosfera. Las emisiones atmosféricas de níquel pueden ser a partir de fuentes naturales como el polvo arrastrado por el viento, los volcanes y la vegetación. Las principales fuentes antropogénicas de emisiones de Ni en el aire son la combustión de petróleo para la generación de calor, el transporte marítimo o la producción de energía, la minería y producción primaria de Ni, la incineración de residuos y lodos de aguas residuales, la fabricación de acero, la galvanoplastia y la combustión del carbón.

Efectos de Ni

Los alimentos son la principal fuente de exposición al Ni, pero la exposición también puede ser resultado de respirar el aire ambiente, beber agua potable o inhalar el humo de tabaco que contenga Ni. También se puede estar expuesto mediante el contacto de la piel con la tierra, el agua de la bañera o ducha o los metales que contienen níquel, así como a través de chapados de níquel.

En cantidades muy pequeñas, el Ni es esencial para los seres humanos. Sin embargo, una elevada absorción puede ser un peligro para la salud humana ya que varios compuestos de Ni son cancerígenos, lo que aumenta el riesgo de desarrollar, por ejemplo, cánceres de pulmón, nariz, laringe o próstata. Los efectos no cancerosos sobre la salud incluyen reacciones alérgicas

de la piel (generalmente no causadas por la inhalación) y efectos sobre el tracto respiratorio, los sistemas inmunitario y de defensa y la regulación endocrina. El efecto adverso más común del Ni en los seres humanos es una reacción alérgica. Aproximadamente el 10-20% de la población es sensible al Ni.

Como en el caso de los seres humanos, el Ni es un elemento esencial en pequeñas cantidades para los animales. En concentraciones elevadas, el Ni y sus compuestos pueden ser de una toxicidad aguda y crónica para la vida acuática y pueden afectar a los animales de la misma manera que a los seres humanos. Se sabe que altas concentraciones de Ni en suelos arenosos pueden dañar las plantas y altas concentraciones en aguas superficiales pueden disminuir las tasas de crecimiento de las algas. Los microorganismos también pueden sufrir una disminución en su crecimiento. No se tiene constancia de que el níquel se acumule en plantas o animales.

7.2. Normas europeas de calidad del aire para los metales pesados

La Tabla 7.1 muestra los valores objetivo europeos de calidad del aire para As, Cd y Ni y el valor límite para el plomo. Los valores indicados son medias máximas anuales, que los países están obligados a cumplir a partir del año 2013, excepto para el valor límite del Pb que debía cumplirse ya el año 2005. La Tabla 7.1 también muestra las directrices de calidad de aire de la OMS como concentraciones medias anuales.

No se ha fijado ningún valor objetivo o límite de la UE para las concentraciones atmosféricas de Hg. Se adaptó un protocolo sobre metales pesados incluyendo Hg en 2003, bajo el marco del CLRTAP de la CEPE. Su objetivo es limitar las emisiones de Hg.

Tabla 7.1. Valores límite y objetivo de calidad del aire para As, Cd, Ni y Pb regulados por la UE, y directrices de calidad del aire de la OMS

Contaminante	Valor objetivo o límite de la UE	AGC de la OMS
Arsénico	6 ng/m ³ ^(b)	
Cadmio	5 ng/m ³ ^(b)	5 ng/m ³ ^(d)
Níquel	20 ng/m ³ ^(b)	
Plomo	500 ng/m ³ ^(c)	500 ng/m ³

Nota: (a) Media anual, medida como contenido en PM₁₀

(b) Valor objetivo, entrada en vigor el 31 de diciembre de 2012

(c) Valor límite que debe cumplirse antes del 1 de enero de 2005. El valor límite ha de cumplirse sólo a partir del 1 de enero de 2010 en las inmediaciones de fuentes industriales específicas situadas en emplazamientos contaminados por décadas de actividad industrial. En tales casos, el valor límite hasta el 1 de enero de 2010 es 1,0 g/m³.

(d) AQG para evitar cualquier aumento de Cd en los suelos agrícolas.

Fuente: UE, 2004b; y OMS, 2000.

7.3. Encuesta europea sobre metales pesados

Barrett *et al.* (2008) examinaron las concentraciones de Pb y de los contaminantes regulados por la Cuarta Directiva de desarrollo (4DD) 2004/107/CE (UE, 2004b), es decir, As, Cd, Ni y HAP y destacaron la escasa disponibilidad de mediciones de concentración. En comparación con 2006, el periodo revisado por Barrett *et al.* (2008), el número de estaciones de seguimiento se ha incrementado en 2010, pero faltan datos de seguimiento en AirBase de partes de Europa.

Como las concentraciones de estos contaminantes suelen estar por debajo del umbral de evaluación inferior (LAT), se pueden utilizar otras técnicas distintas de seguimiento para evaluar la calidad del aire. Esta podría ser la razón por la cual estos contaminantes se presentan en un número relativamente pequeño de estaciones. De acuerdo con los objetivos de calidad de datos establecidos en la legislación comunitaria, para mediciones indicativas se aplica un criterio de cobertura de datos del 14% en los datos de metales pesados. Un problema en el análisis de los datos de estos contaminantes es que no siempre es cierto (a partir de los datos notificados por los países) tanto si los metales pesados se han medido en la fracción del tamaño de partículas PM_{10} (como requiere la Directiva o en otro tamaño de fracción (no definido), por ejemplo, partículas de todos los tamaños.

El Mapa 7.1 presenta las concentraciones medias anuales en el ambiente de As, Cd, Pb y Ni notificadas en Europa. Los mapas muestran que el problema de la contaminación de estos metales pesados es muy localizado: los problemas están relacionados con determinadas plantas industriales o zonas cubiertas por estaciones de seguimiento.

De Leeuw (2012) resumió de la siguiente manera los resultados de los datos notificados en 2010:

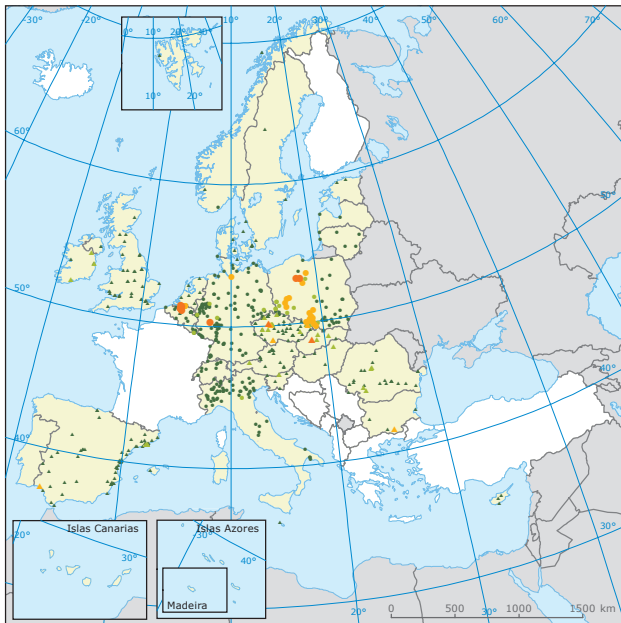
- En 2010 se notificaron concentraciones de **arsénico** por debajo del umbral de evaluación inferior ($2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en cerca del 90% de las estaciones. En doce estaciones (de un total de 542 estaciones operativas) las concentraciones notificadas superaban el valor objetivo fijado para 2013. Se observa un número relativamente grande de casos de superación en Bélgica (cinco estaciones, de las cuales cuatro están ubicadas próximas a una planta industrial en Hoboken, cerca de Amberes). Los otros cinco casos de superación se observan en la República Checa, Alemania, Polonia y Eslovaquia. En dos casos de superación, se ha notificado el As como perteneciente a un "aerosol", es decir, una fracción de tamaño indefinido.

- En 2010 las concentraciones atmosféricas de **cadmio** superaron el valor objetivo en el 1,7% de las estaciones de Europa. Se observan casos de superación en tres países (Bélgica, Bulgaria, España), principalmente en estaciones industriales, de tráfico y urbanas. En la mayoría de las otras estaciones, las concentraciones están por debajo del umbral inferior de evaluación ($2 \text{ ng}/\text{m}^3$).
- En 2010 las concentraciones de **plomo** superaron el valor límite en dos estaciones (en Bulgaria y en Rumania). El 99% de las estaciones notificaron concentraciones de Pb por debajo del umbral inferior de evaluación de $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Las concentraciones de **níquel** superaron el valor objetivo en ocho de las 551 estaciones operativas (1,5%). Estas estaciones están situadas en Bélgica, Alemania e Italia. La mayor parte de los casos de superación están relacionados con la industria.
- Las concentraciones de **mercurio** registradas en AirBase son muy pocas, a pesar del hecho de que la 4DD (UE, 2004b) solicita a los Estados miembros de la UE llevar a cabo mediciones (indicativas) de Hg en al menos una estación de fondo. En 2010 las concentraciones atmosféricas de fondo de Hg oscilaban entre $1,3$ y $2,0 \text{ ng}/\text{m}^3$ en grandes zonas de Europa (17 estaciones en Finlandia, Alemania, Lituania, Polonia, Eslovenia y Suecia). Se notificaron mediciones de deposiciones en 20 estaciones (de las cuales 18 se encuentran en Alemania y el Reino Unido). La media del flujo de deposición anual de todas las estaciones es $0,10 \text{ g}/\text{ha}/\text{año}$.

7.4. Tendencias en las concentraciones y emisiones de metales pesados

No hay ningún requisito en la legislación de la UE para que los Estados miembros notifiquen las emisiones de los diferentes metales pesados. Sin embargo, una serie de Estados miembros de la UE han firmado y ratificado el "Protocolo sobre metales pesados" bajo el CLRTAP de la CEPE, por el que se requiere la presentación de cierta información. Otros notifican voluntariamente datos sobre emisiones a la Convención. Sin embargo, las estimaciones de las emisiones de metales pesados notificadas son de una incertidumbre relativamente alta en comparación con los principales contaminantes atmosféricos, ya que los datos no siempre son completos y las estimaciones de las emisiones a veces se basan en relativamente pocos datos de medición.

Mapa 7.1. Concentraciones medias anuales de metales pesados (arsénico, cadmio, plomo y níquel), 2010

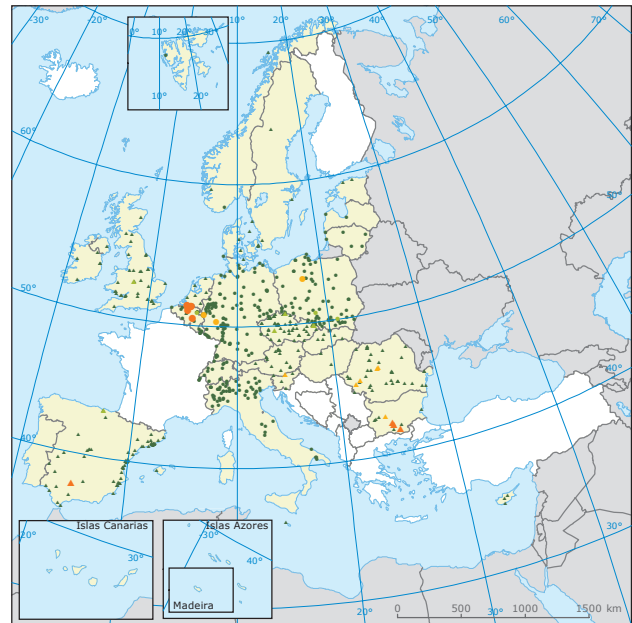


Arsénico medio anual, 2010, basado en la media anual con porcentaje de mediciones válidas $\geq 14\%$ en ng/m^3

○ Notificado como fracción de PM_{10} △ Sin indicación de fracción de PM_{10}

● ≤ 2 ▲ 2-4 ▲ 4-6 ▲ > 6

□ Sin datos □ Países/regiones no incluidos en el proceso de intercambio de datos

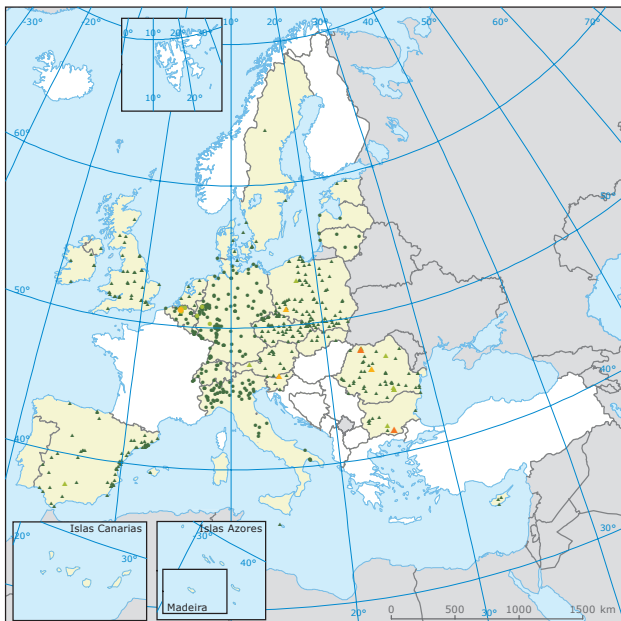


Cadmio medio anual, 2010, basado en la media anual con porcentaje de mediciones válidas $\geq 14\%$ en ng/m^3

○ Notificado como fracción de PM_{10} △ Sin indicación de fracción de PM_{10}

● ≤ 2 ▲ 2-3 ▲ 3-5 ▲ > 5

□ Sin datos □ Países/regiones no incluidos en el proceso de intercambio de datos

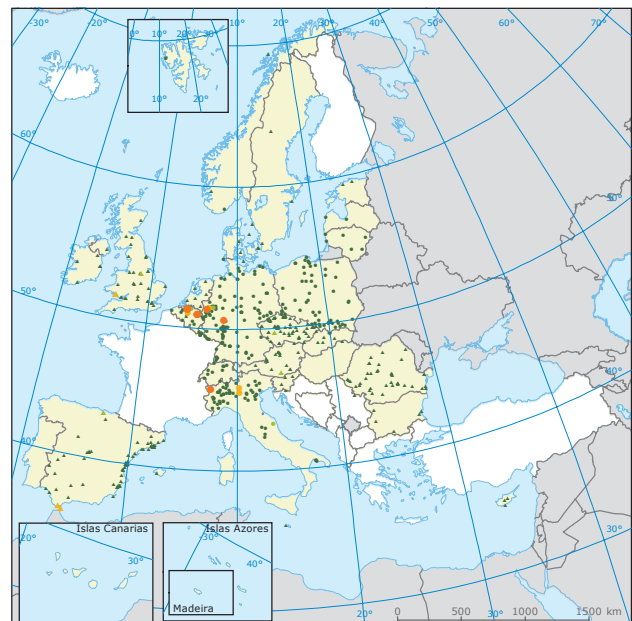


Plomo medio anual, 2010, basado en la media anual con porcentaje de mediciones válidas $\geq 14\%$ en ng/m^3

○ Notificado como fracción de PM_{10} △ Sin indicación de fracción de PM_{10}

● $\leq 0,1$ ▲ 0,1-0,25 ▲ 0,25-0,5 ▲ $> 0,5$

□ Sin datos □ Países/regiones no incluidos en el proceso de intercambio de datos



Níquel medio anual, 2010, basado en la media anual con porcentaje de mediciones válidas $\geq 14\%$ en ng/m^3

○ Notificado como fracción de PM_{10} △ Sin indicación de fracción de PM_{10}

● ≤ 10 ▲ 10-15 ▲ 15-20 ▲ > 20

□ Sin datos □ Países/regiones no incluidos en el proceso de intercambio de datos

Fuente: AirBase v. 6.

7.4.1. As

El número de estaciones de seguimiento de As se ha incrementado rápidamente en los últimos años, hasta superar las 500 estaciones en 2009 y 2010, incluidas estaciones de fondo, de tráfico e industriales.

La mayoría de las estaciones registraron una ligera reducción en las concentraciones de As en el período 2006-2010, aunque cabe destacar que el muestreo y el método de medición no se notificaron en algunas estaciones y los métodos pueden haber cambiado durante el período. El corto período de la evaluación hace que sea imposible llevar a cabo un análisis estadístico de la tendencia de la concentración y su importancia estadística.

La mayoría de los países disminuyeron sus concentraciones nacionales medias entre 2006 y 2010. Bulgaria disminuyó sus emisiones totales de As entre 2006 y 2010 en un 25%. Sin embargo, la concentración de arsénico en una estación en Bulgaria aumentó significativamente entre 2006 y 2009, mientras que en otra estación se pudo observar una disminución desde 2006 a 2010. Eslovaquia ha reducido sus emisiones de As en un 18% entre 2006 y 2010 (registrando un incremento entre 2009 y 2010). Estas variaciones en las emisiones de Eslovaquia se reflejan en la disminución generalizada de las concentraciones de As entre 2006

y 2010 y en un aumento entre 2009 y 2010 en tres estaciones.

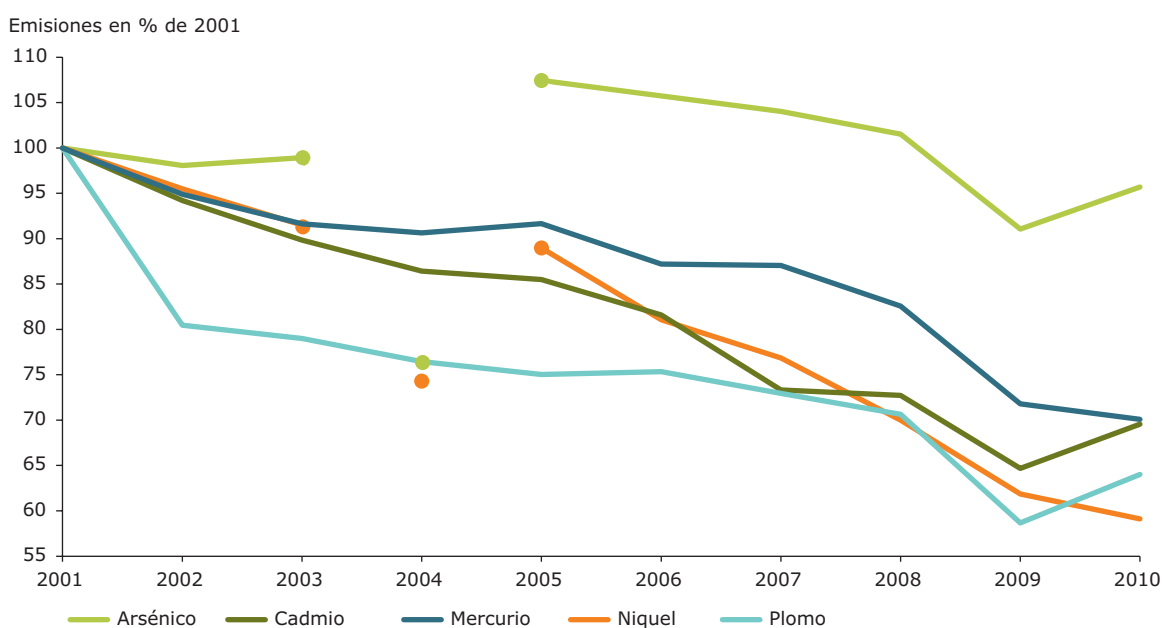
La Figura 7.1 muestra la evolución de las emisiones de As (y otros metales pesados) notificadas por los Estados miembros de la UE entre 2001 y 2010, como porcentaje de las emisiones de 2001. Las emisiones de arsénico se redujeron de media un 4% entre 2001 y 2010 en la UE (un 5% en los países de la AEMA-32), registrando aumentos y disminuciones en el período.

Veintidós países informaron de emisiones para todo el período. Polonia no informó de las emisiones de As en 2004, que es la razón de la disminución de las emisiones totales notificadas en 2004. Polonia fue responsable del 15-20% de las emisiones comunitarias de As entre 2001-2010. La serie temporal de los cambios de la concentración de As es actualmente demasiado corta y la cobertura geográfica es muy limitada para permitir una comparación sobre tendencias de emisiones a nivel europeo.

7.4.2. Cd

Como es el caso del As, la mayoría de las estaciones registraron una reducción en las concentraciones durante los últimos cinco años. El número de estaciones que mide las concentraciones atmosféricas de Cd ha

Figura 7.1. Emisiones de As, Cd, Hg, Ni y Pb, 2001-2010, como porcentaje de emisiones de 2001



Nota: Polonia no presentó emisiones para As ni Ni en 2004, lo que explica el descenso de las emisiones notificadas en 2004. Polonia fue responsable del 15-20% de emisiones de As de la UE y del 13-18% de las emisiones de Ni de la UE en 2001-2010.

Fuente: CEIP, 2012 para As y Ni, y AEMA para Cd, Hg y Pb.

aumentado considerablemente en los últimos años, llegando a casi 600 en 2010 en 23 países de la UE.

Las concentraciones están disminuyendo en todas las estaciones (14) en Suiza durante los últimos diez años (2001-2010), aunque dos de ellas registraron un aumento de 2009 a 2010. El Reino Unido (con 21 estaciones de registro de datos de 2006 a 2010) registró una disminución de las concentraciones entre 2006 y 2010 y un ligero aumento en tres estaciones entre 2009 y 2010. España registró un claro descenso general en concentraciones entre 2006 y 2010. En Austria, Bélgica, Bulgaria, la República Checa y Alemania, las estaciones registraron tanto aumentos como disminución de las concentraciones desde 2006.

Las emisiones de cadmio en la UE y de la AEMA-32 disminuyeron un 30% entre 2001 y 2010 (Figura 7.1). Las series temporales de la concentración de Cd se limitan a varios países. Las limitaciones en la cobertura geográfica en Europa no permiten una comparación a nivel europeo sobre cambios en las emisiones.

7.4.3. Pb

Para el período 2001-2010, los datos de concentración de Pb en AirBase estaban disponibles para ocho países⁽²³⁾. Mientras que las concentraciones se han

mantenido casi constantes en las estaciones de tráfico y rurales desde 2001 (Figura 7.2), existe una clara reducción de las concentraciones medidas en las estaciones industriales (designadas como "otro") desde 2002 y hasta 2009, con un ligero aumento entre 2009 y 2010.

Las emisiones de plomo disminuyeron en la UE y en la AEMA-32 en un 36% entre 2001 y 2010 (Figura 7.1). Las series temporales de la concentración de Pb están limitadas a ocho países. Las limitaciones en la cobertura geográfica no admiten una comparación a nivel europeo sobre cambios en las emisiones.

7.4.4. Hg

Varios compuestos de Hg se miden en un número de estaciones de la red EMEP, utilizando una variedad de métodos. En espera de un análisis de EMEP de esas mediciones, y en vista de la escasez de datos disponibles en AirBase, las tendencias en las concentraciones atmosféricas de Hg en Europa no se evalúan aquí.

Las emisiones de mercurio en la UE y de la AEMA-32 disminuyeron un 30% entre 2001 y 2010 (Figura 7.1).

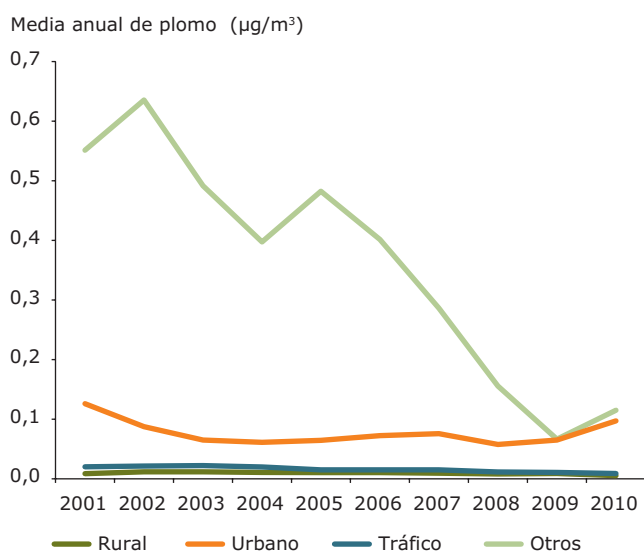
7.4.5. Ni

Bélgica notificó concentraciones de níquel para el período 2001-2010. Hay una disminución general en las concentraciones. En Bélgica, la disminución media anual de las concentraciones de Ni era de 1 ng/m³. En el período 2001-2010 Bélgica ha reducido sus emisiones de Ni en un 85%.

Entre 2006 y 2010 trece países informaron de concentraciones de Ni: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Dinamarca, Eslovaquia, España, Italia, Letonia, Países Bajos, el Reino Unido, República Checa y Suiza. Las concentraciones medias registradas entre 2006 y 2010 han disminuido continuamente en Austria, Bélgica, Bulgaria, España y la República Checa.

Las emisiones de níquel disminuyeron en la UE y en los países AEMA-32 en un 41% entre 2001 y 2010 (Figura 7.1). Como se ha indicado anteriormente, la serie temporal de la concentración de Ni se limita a un solo país para el período 2001-2010. La cobertura geográfica es demasiado baja para permitir una comparación a nivel europeo sobre cambios en las emisiones.

Figura 7.2. Media de las concentraciones medias anuales de PB notificadas por la estaciones de seguimiento en ocho países⁽²³⁾, 2001-2010



Fuente: CTE/ACM

⁽²³⁾ Austria, Bélgica, Dinamarca, Irlanda, los Países Bajos, Rumania y Suiza.

7.5. Exposición a la contaminación por metales pesados en Europa

La exposición humana a concentraciones de Pb, As, Cd y Ni en el aire ambiente por encima de los valores límite u objetivo es un problema local, restringido a unas pocas zonas de Europa y generalmente relacionado con determinadas plantas industriales.

Por otro lado, la deposición atmosférica de metales pesados en el medio ambiente contribuye a la exposición de los ecosistemas y organismos a los metales pesados y a la bioacumulación en la cadena alimentaria, lo que afecta también a la salud humana. Una parte de la superficie de los ecosistemas está en riesgo debido a la deposición atmosférica de Cd, Pb o Hg.

El porcentaje de área de los ecosistemas nacionales en Europa que supera las cargas críticas de Cd es inferior al 1% en la mayoría de los países, excepto en aquellos que han establecido cargas críticas más bajas que otros (por ejemplo, Bulgaria) (Slootweg *et al.*, 2010).

Para el Pb, el área y el alcance de los casos de superación o cargas críticas son mucho más altos. La deposición atmosférica de Pb supera las cargas críticas en más del 12% de la superficie de los ecosistemas de la UE (Slootweg *et al.*, 2010).

Los mayores casos de superación de cargas críticas de PM se refieren a Hg. Más de la mitad de los países de la AEMA-32 ⁽²⁴⁾ tienen casos de superación de cargas críticas de Hg en casi el 90% o más de la superficie de sus ecosistemas. En total, la deposición total atmosférica de Hg supera la carga crítica en el 54% de la superficie de los ecosistemas de la UE (Slootweg *et al.*, 2010).

7.6. Respuestas

La primera Directiva IPPC (UE, 2008b) y la Directiva sobre incineración de residuos (UE, 2000), sustituida por la Directiva sobre emisiones industriales (UE, 2010b), así como la Directiva sobre calidad de combustibles (UE, 2003), regulan las emisiones de metales pesados.

La Directiva sobre emisiones industriales incluye metales y sus compuestos en su lista de sustancias contaminantes que deben ser reguladas. Se obliga a las industrias a utilizar las mejores técnicas disponibles para limitar las emisiones de metales pesados tanto como sea posible.

La Directiva sobre calidad de combustibles (2003/17/CE) exige que todos los carburantes vendidos en la UE después del 1 de enero 2002 estén libres de Pb. Esto ha eliminado la contribución del tráfico rodado a las concentraciones atmosféricas de Pb.

La Estrategia de la Comisión Europea sobre el mercurio (CE, 2005a), introducida en 2005 y revisada en 2010, se ocupa de la mayoría de los aspectos del ciclo de vida de Hg. Su objetivo principal es reducir los niveles de mercurio, tanto en relación con la exposición humana como con el medio ambiente. En él se identifican veinte acciones prioritarias emprendidas, tanto en la UE como a nivel internacional, para reducir las emisiones de Hg, recortar la oferta y la demanda y proteger contra la exposición, especialmente al metilmercurio, en el pescado. Como resultado, se establecieron restricciones sobre la venta de aparatos de medición que contienen Hg, entró en vigor en marzo 2011 una prohibición de exportaciones de Hg en la UE y se adoptaron nuevas normas sobre el almacenamiento seguro.

Además, los convenios internacionales controlan las emisiones y el transporte de Hg. Algunos ejemplos son: 1) el Convenio de la CEPE sobre la Contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia, con el objetivo de reducir las emisiones de mercurio y otros metales pesados procedentes de la industria, de la combustión y de residuos, y reducir las emisiones de los productos; 2) Convenio de Basilea ⁽²⁵⁾ sobre el control del transporte transfronterizo de residuos peligrosos y su eliminación, con el objetivo de proteger la salud y el medio ambiente del uso/movimiento de residuos a países en vías de desarrollo/Europa del este, e indicando que los residuos contaminados de Hg no se pueden exportar a otros países desde la UE para su eliminación, recuperación o reciclaje.

⁽²⁴⁾ Albania, la Antigua República Yugoslava de Macedonia, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Croacia, Dinamarca, Eslovenia, España Grecia, Hungría, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Países Bajos, Polonia y Rumania.

⁽²⁵⁾ <http://www.basel.int>.

8 Benceno (C₆H₆) y benzo(a)pireno (BaP)

8.1. Fuentes y efectos

8.1.1. C₆H₆

Orígenes de C₆H₆ en el aire

La combustión incompleta de combustibles es la mayor fuente de C₆H₆. El benceno es un aditivo de la gasolina y el 80-85% de las emisiones de C₆H₆ en Europa se deben al tráfico de vehículos. Otras fuentes son la calefacción de los hogares, el refinado del petróleo y la manipulación, distribución y almacenamiento de gasolina. En general, las contribuciones de la calefacción de los hogares son pequeñas (aproximadamente 5%), pero con nítidos patrones geográficos. La combustión de madera puede ser una importante fuente local de C₆H₆ en los lugares en que cubre más de la mitad de las necesidades energéticas de los hogares (Hellen *et al.*, 2008).

La eliminación de C₆H₆ de la atmósfera se produce principalmente a través de la degradación fotoquímica de C₆H₆, lo que también contribuye a la formación de O₃, aunque la reactividad química de C₆H₆ es relativamente baja. Una vida atmosférica de varios días es suficiente para que el C₆H₆ sea transportado a largas distancias.

Efectos del C₆H₆ sobre la salud

La inhalación es la vía dominante de exposición al C₆H₆ en los seres humanos, siendo el tabaco una fuente importante de exposición personal. El consumo de alimentos y agua es solo una fuente menor.

El benceno es un contaminante cancerígeno. Los efectos adversos más significativos de una exposición prolongada son los daños a las células de material genético, que pueden causar cáncer. La exposición crónica a C₆H₆ puede debilitar la médula ósea y causar efectos hematológicos como la disminución de los recuentos de células rojas y blancas en la sangre.

8.1.2. BaP

Orígenes de BaP en el aire

El benzo(a)pireno es un HAP de cinco anillos y se encuentra en partículas finas procedentes de una combustión incompleta. Una fuente principal de BaP en Europa es la calefacción de los hogares, en particular, la quema de madera, la quema de residuos, la producción de coque y acero y las fuentes móviles. Otras fuentes son la quema al aire libre y el desgaste de los neumáticos de goma.

Efectos de BaP sobre la salud

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) considera el BaP como un carcinógeno conocido. Mientras que los estudios de laboratorio muestran que el BaP es un conocido carcinógeno en animales, estudios epidemiológicos sólo han sido capaces de evaluar el efecto de una mezcla de HAP, incluyendo el BaP en el hollín, alquitranes y aceites. El benzo(a)pireno es un promutágeno, lo que significa que necesita ser metabolizado antes de que pueda inducir la mutación. El benzo(a)pireno puede reaccionar también con O₃ para producir mutágenos fuertes como el óxido BaP-4,5.

8.2. Normas europeas de calidad del aire para C₆H₆ y BaP

El valor límite para el C₆H₆ y el valor objetivo para el BaP para la protección de la salud humana establecido en la legislación de la UE se muestran en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Valores límite y objetivo de la calidad del aire para C₆H₆ y BaP

	EU
Benceno µg/m ³	5 ^(a)
Benzo(a)pireno ng/m ³	1 ^(b)

Nota: ^(a) Valor límite a cumplirse a partir de 2010

^(b) Valor objetivo a cumplirse a partir de 2013

Fuente: UE, 2004b; UE, 2008c.

8.3. Encuesta europea sobre C₆H₆ y concentración media anual de BaP

8.3.1. C₆H₆

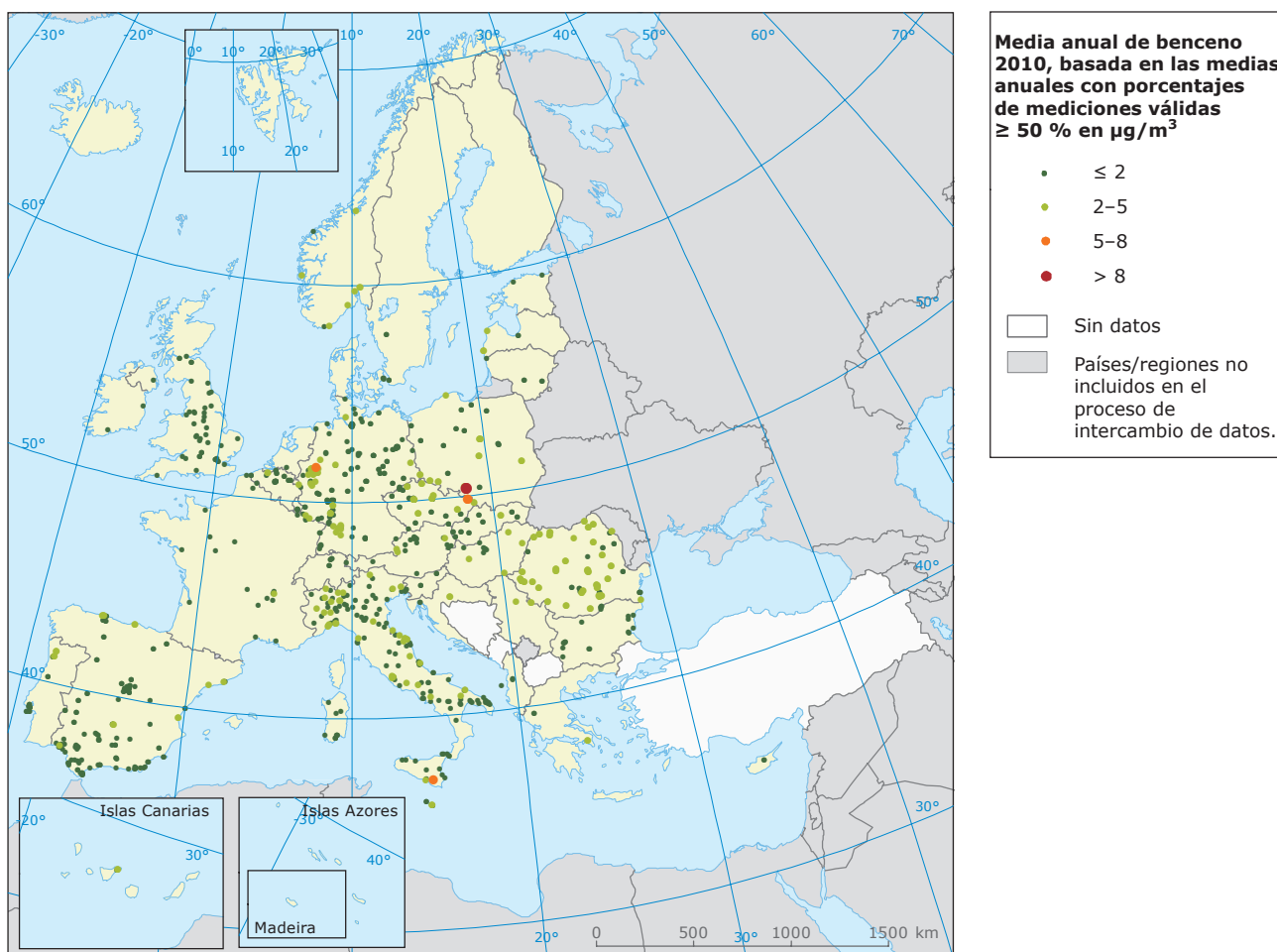
Superación de los valores límite

El benceno se mide en un número relativamente pequeño de estaciones. En muchos lugares, las concentraciones medias anuales de C₆H₆ están por debajo del umbral inferior de evaluación de 2 µg/m³ (Barrett *et al.*, 2008). Cuando las concentraciones están por debajo del umbral inferior, la calidad del aire puede evaluarse mediante mediciones indicativas o discontinuas.

La Directiva de calidad del aire de 2008 (UE, 2008c) establece un valor límite de la concentración media de 5 µg/m³ para el C₆H₆ en el aire ambiente, con respecto a 2010.

El Mapa 8.1 presenta las concentraciones medias anuales de C₆H₆ en estaciones con al menos un 50% de cobertura de datos. El valor límite se superó en cuatro estaciones, en la República Checa, Alemania, Italia y Polonia. Los casos de superación se observaron en estaciones urbanas (1) e industriales (3), sin casos de superación del valor límite en las estaciones de fondo rurales.

Mapa 8.1. Media anual de concentraciones de C₆H₆, 2010



Nota: Los puntos verde pálido corresponden a las superaciones del umbral de evaluación inferior (2 en µg/m³).

Los puntos naranja y rojo corresponden a las superaciones del valor límite (5 µg/m³).

Los puntos rojos corresponden a las superaciones del valor límite más 3 µg/m³.

El criterio de cobertura de datos se ha establecido en 50% por un grupo de trabajo sobre benceno de la Comisión Europea (Mol *et al.*, 2011)

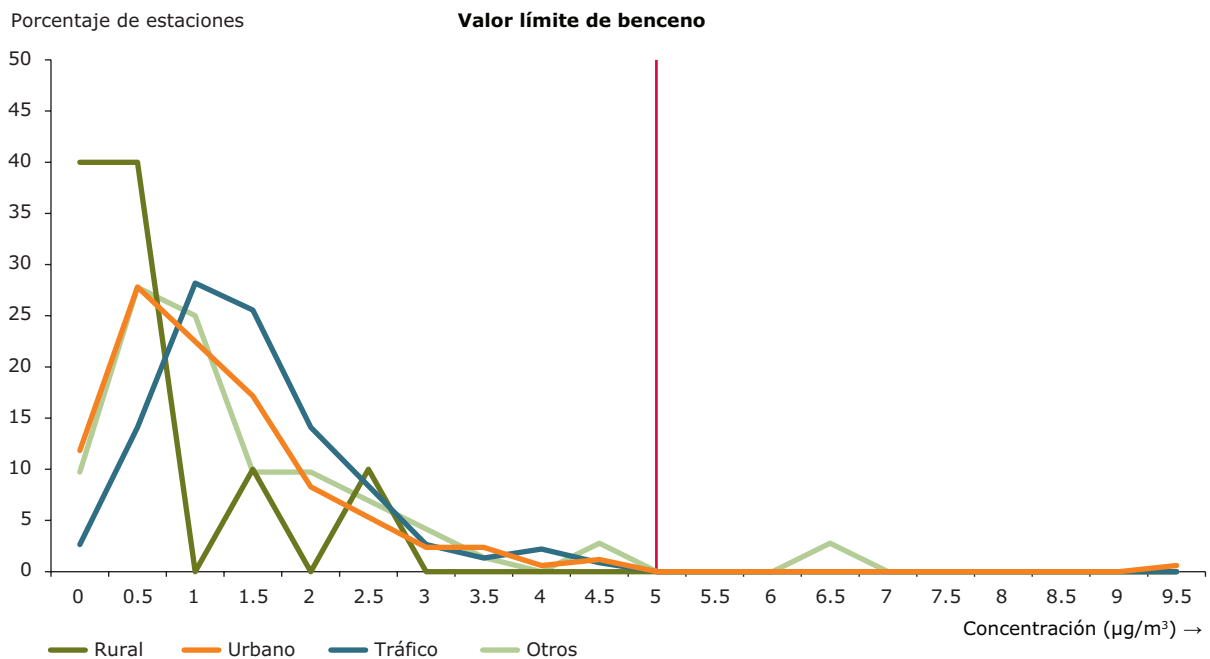
Fuente: AirBase v.6.

Distancia al objetivo

La Figura 8.1 muestra que, con excepción de cuatro estaciones, las concentraciones medidas de C_6H_6 en Europa están muy por debajo del valor límite.

La Figura 8.2 muestra el estado de los valores medios anuales C_6H_6 para 2010, 2005 y 2001 para todos los Estados miembros de la UE. Muestra que en 2010 las concentraciones anuales de C_6H_6 estuvieron, de media, muy por debajo del valor límite.

Figura 8.1. Gráfico de distancia al objetivo para el valor límite de C_6H_6 , 2010

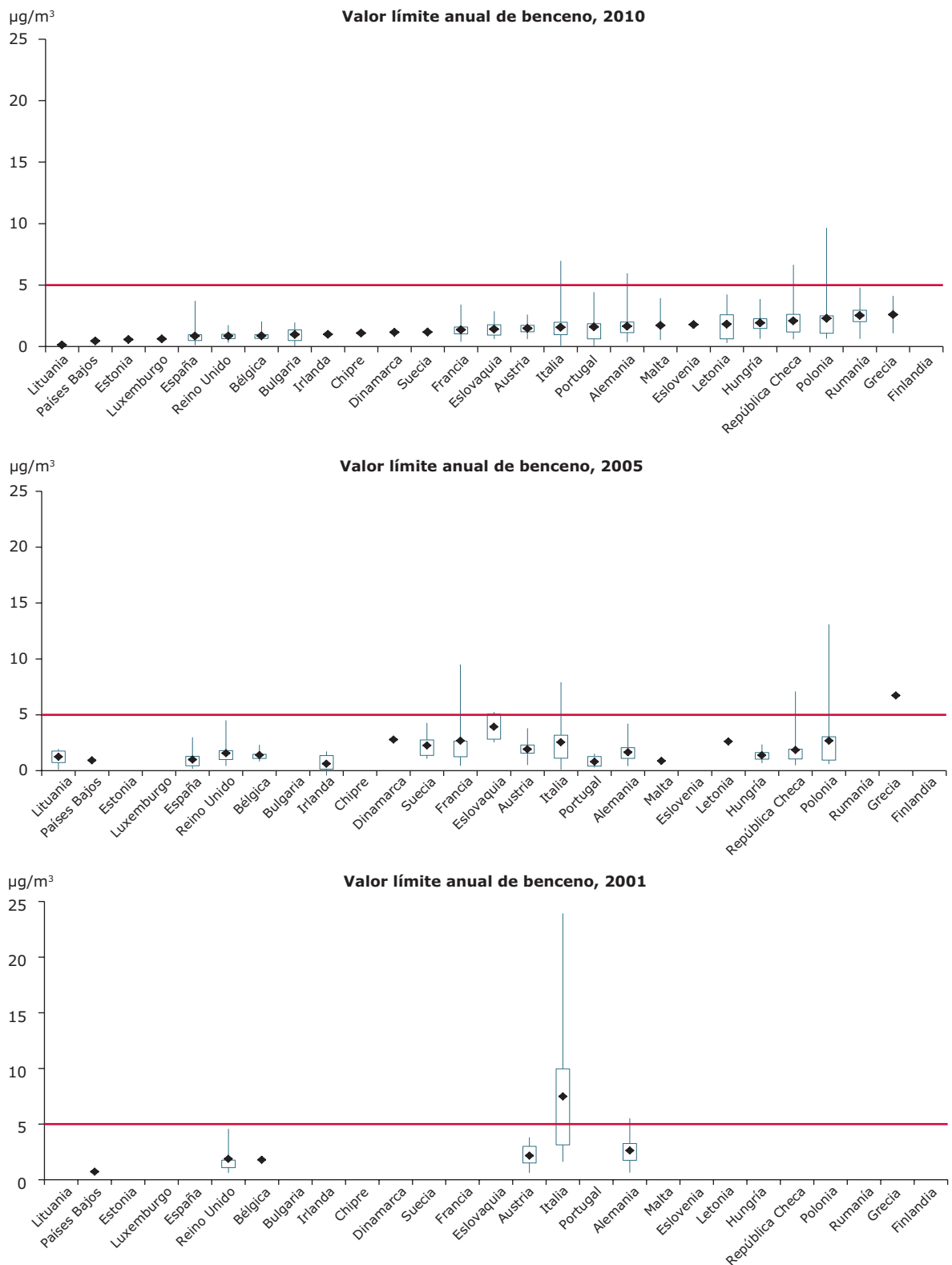


Nota: Los gráficos muestran la distribución de frecuencia porcentual (en el eje y) en los Estados miembros de la UE frente a las diferentes clases de concentración (en el eje x, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La línea vertical corresponde al valor límite establecido por la legislación de la UE.

Fuente: Airbase v.6.

Figura 8.2. Situación alcanzada con respecto al C₆H₆, años de referencia 2010, 2005, 2001

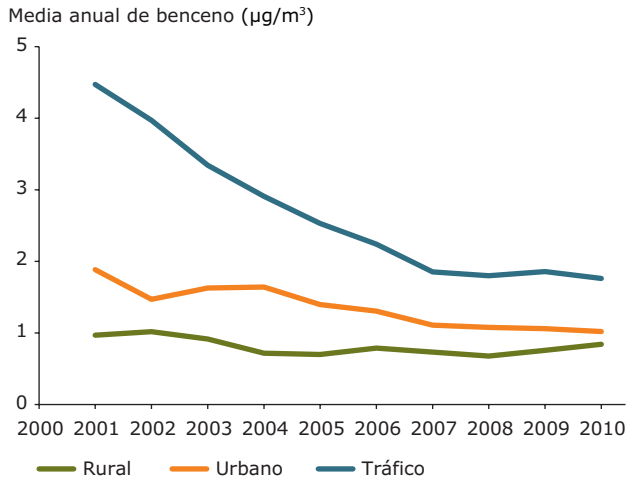


Nota: Los gráficos se basan en los valores de la concentración media anual; presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en µg/m³) notificado oficialmente por los Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor límite establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).

El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior señala el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más bajos y el cuartil superior el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más altos.

Fuente: CTE/ACM

Figura 8.3. Tendencia en las concentraciones medias anuales de C_6H_6 (2001-2010) por tipo de estación



Nota: Se incluyeron en el análisis todas la estaciones en los Estados miembros, con al menos un 75% de cobertura de datos durante al menos ocho años. Las concentraciones por tipo de estación se dan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Existe un sesgo geográfico hacia el centro de Europa en los diagramas, donde hay una mayor densidad de estaciones.

Fuente: CTE/ACM

Tendencias en las concentraciones de C_6H_6

Las concentraciones medias anuales de C_6H_6 promediadas para cada tipo de estación se muestran en la Figura 8.3. Las concentraciones fueron más altas en las estaciones de tráfico, ya que la gasolina sigue siendo una de las fuentes más importantes de C_6H_6 . Las concentraciones medidas en las estaciones de tráfico disminuyeron de manera constante hasta 2007, tras lo cual se estabilizaron. Las concentraciones de benceno en las estaciones urbanas y rurales muestran una disminución mucho menor durante el mismo período.

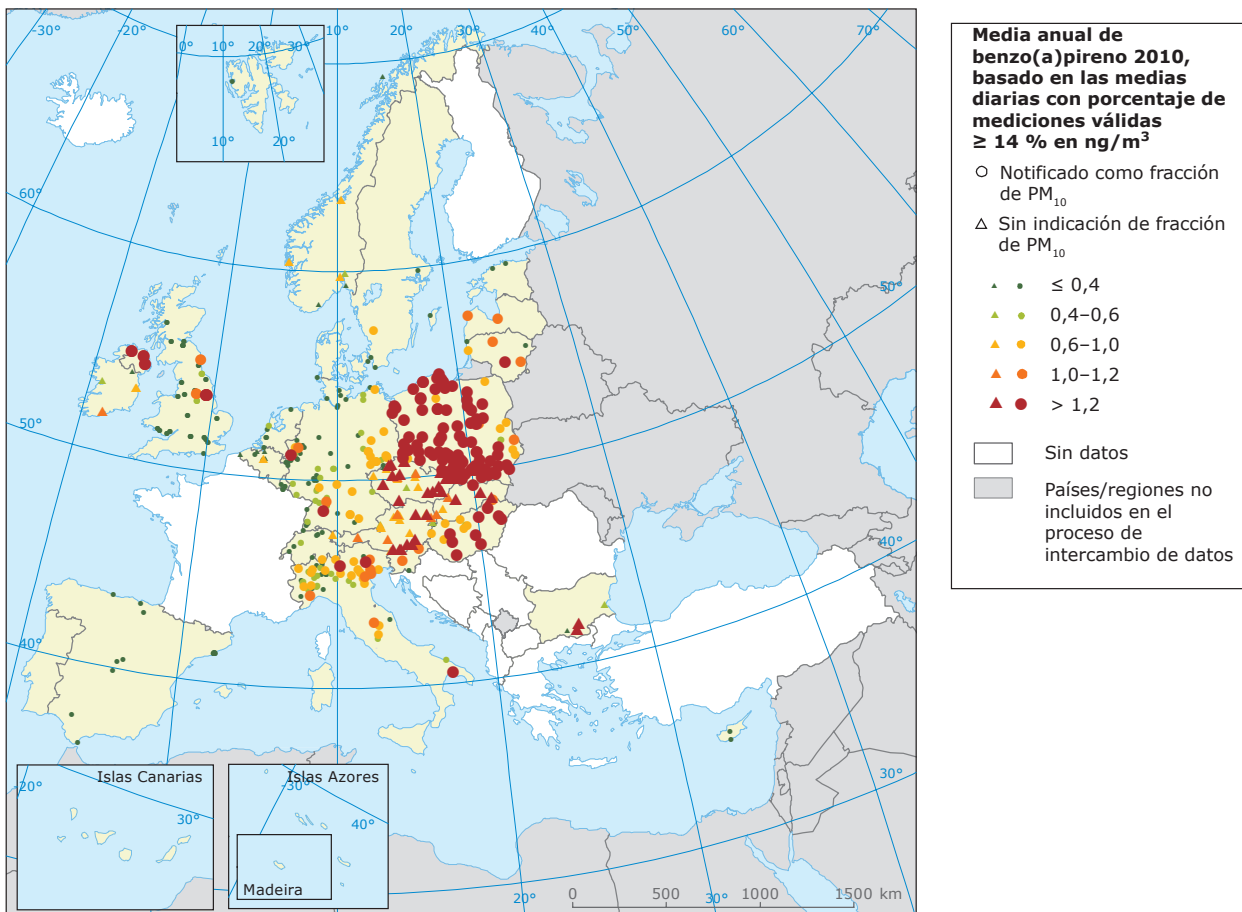
No está claro si las emisiones de C_6H_6 registraron una estabilización similar después de 2007 porque el C_6H_6 no se incluye como un contaminante individual en los inventarios de emisiones europeas relativas a COV.

8.3.2. BaP

Superación de los valores objetivo

Las mediciones de benzo(a)pireno en 2010 estaban por encima del umbral del valor objetivo (media anual de

Mapa 8.2. Concentraciones medias anuales de BaP (ng/m^3), 2010



Fuente: AirBase v. 6.

1 ng/m³ con respecto a 2013) en el 38% de las estaciones de seguimiento (Mapa 8.2). Este fue el caso, sobre todo, en las estaciones de fondo urbanas y, en menor medida, en las estaciones rurales de tráfico e industriales. Los casos de superación predominan más en Europa central y del este (Alemania, Austria, los Países Bálticos, la República Checa, Hungría, Italia (el valle del Po), Polonia y Eslovaquia, aunque también se observan en Bulgaria, Alemania (la región del Ruhr), Irlanda y el Reino Unido (la región central e Irlanda del Norte). Además, Francia y Grecia también notificaron casos de superación del valor objetivo en una o más zonas de gestión de la calidad del aire. La evaluación para Grecia se basa en modelos. Los casos de superación en Francia se basan en los datos de control; sin embargo, estos datos no están disponibles en AirBase (de Leeuw, 2012).

Distancia al objetivo

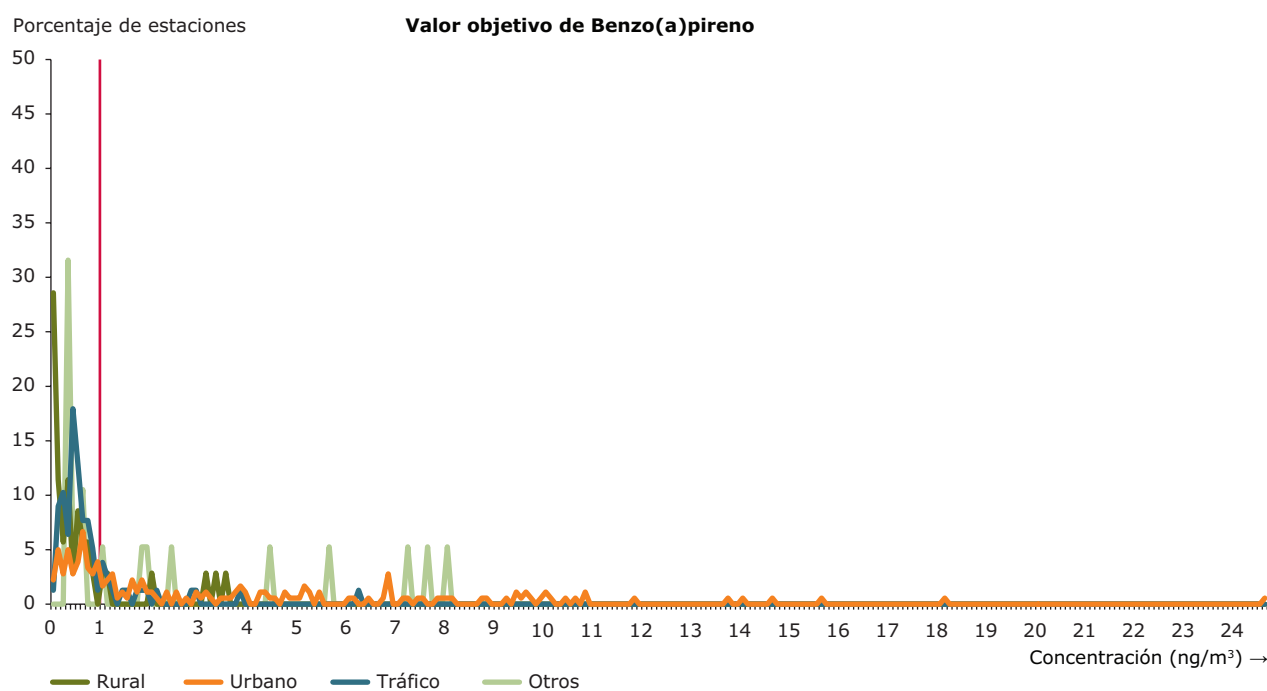
La Figura 8.4 muestra que muchas estaciones están acercándose y superando el valor objetivo para el BaP en las zonas rurales, urbanas, de tráfico y otras (incluidas industriales). Como muestra la figura, los casos de superación se produjeron en todos los tipos de estaciones y las concentraciones más bajas se midieron

prioritariamente en las estaciones rurales. La Figura 8.5 presenta para todos los Estados miembros un diagrama de caja con los valores medios anuales de BaP en 2010, en el que se muestra que, de media, las concentraciones anuales de BaP superaron el valor objetivo en seis países (Austria, Bulgaria, Eslovaquia, Hungría, Polonia y la República Checa). La concentración media medida en las estaciones polacas es seis veces mayor que el valor objetivo.

Tendencias en las concentraciones y emisiones de BaP

Las concentraciones de benzo(a)pireno pueden obtenerse de un número limitado de estaciones. Desde su comienzo en 2005, 22 estaciones en tres países han presentado datos durante al menos cinco años. Para el período de tres años hasta 2010, 17 países (285 estaciones) notificaron mediciones de BaP, lo que permite un análisis de los casos persistentes de superación durante este período. Los casos de superación del valor objetivo de la UE son persistentes: en el 30% de las estaciones que midieron una superación en 2010, la situación de no cumplimiento continuó durante el período 2008-2010 (de Leeuw, 2012).

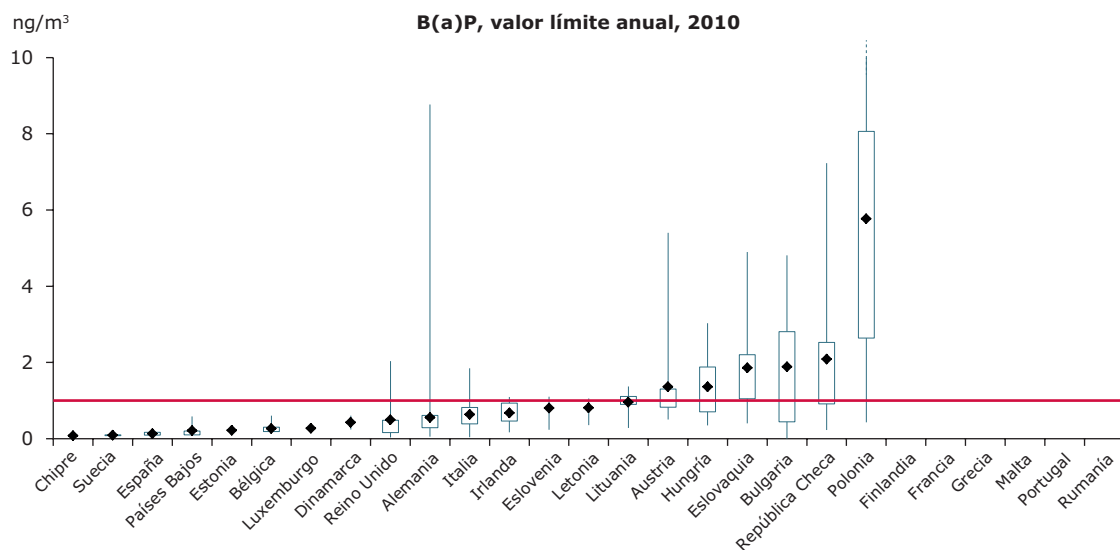
Figura 8.4. Gráfico de distancia al objetivo para el valor objetivo de BaP, 2010



Nota: El gráfico muestra la distribución de frecuencia porcentual (en el eje y) en los Estados miembros de la UE frente a las diferentes clases de concentración (en el eje x, en mg/m³).

La línea vertical corresponde al valor límite establecido por la legislación de la UE.

Fuente: AirBase v. 6.

Figura 8.5. Situación alcanzada con respecto al BaP, 2010

Nota: Los gráficos se basan en los valores de la concentración media anual. Presentan el intervalo de concentraciones en todos los tipos de estaciones (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) notificado oficialmente por los Estados miembros de la UE y cómo las concentraciones se refieren al valor límite establecido por la legislación de la UE (marcado por la línea roja).

El diagrama indica las observaciones inferiores y superiores, las medias y los cuartiles inferior y superior. El cuartil inferior señala el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más bajos y el cuartil superior el valor que separa el 25% correspondiente a los datos más altos.

Fuente: CTE/ACM

Las emisiones de BaP en la UE han aumentado un 14% entre 2001 y 2010. El sector principal de emisión es la quema de combustible en comercios, instituciones y hogares, responsable del 84% de las emisiones totales de BaP en 2010 en la UE. Las emisiones de este sector han aumentado constantemente desde 2006 (16% de 2006 a 2010).

8.4. Exposición a la contaminación por C_6H_6 y BaP en Europa

Mientras la exposición a C_6H_6 en Europa se limita a unas pocas áreas locales cercanas a las fuentes de tráfico o industriales, la exposición a la contaminación por BaP es bastante significativa y extendida. Las poblaciones que viven en el centro y este de Europa están expuestas a concentraciones ambientales de BaP por encima del valor objetivo (qué debe alcanzarse en 2013), como evidencia el Mapa 8.2. Entre el 20% y el 29% de la población urbana de la UE estuvo expuesta a concentraciones de BaP por encima del valor objetivo ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$) en el período 2008-2010. Hasta el 94% de la población urbana estuvo expuesta a concentraciones de BaP por encima del nivel de referencia calculado por la OMS (Tabla ES.1). El aumento de las emisiones de BaP en Europa en los últimos años es por lo tanto un motivo

de preocupación, ya que está agravando la exposición de la población europea a concentraciones de BaP.

8.5. Respuestas

La Directiva sobre calidad de los combustibles (UE, 2003) limita el contenido de C_6H_6 en la gasolina por debajo del 1%.

En cuanto al BaP, la Directiva sobre emisiones industriales (UE, 2010b) regula las emisiones de una amplia variedad de fuentes industriales. La lista de los compuestos regulados incluye "Las sustancias y preparados que se haya demostrado que poseen propiedades cancerígenas o mutágenas". Por lo tanto, el benzo(a)pireno, como carcinógeno comprobado, se incluye en la lista de compuestos regulados por esta directiva.

El Protocolo de la CEPE sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), obliga a las partes a reducir sus emisiones de HAP por debajo de sus niveles en 1990 (o un año alternativo entre 1985 y 1995). Establece valores límite específicos para la incineración de residuos municipales, peligrosos y médicos.

Referencias

AEMA, 2006, *Air quality and ancillary benefits of climate change policies*, Informe Técnico de la AEMA No 4/2006, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2010a, *The European environment state and outlook 2010*, Agencia Europea de Medio Ambiente (<http://www.eea.europa.eu/soer>) acceso del 5 de Julio de 2012.

AEMA, 2010b, *Impact of selected policy measures on Europe's air quality*, Informe de la AEMA No 8/2010, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2011a, *Air pollution impacts from carbon capture and storage (CCS)*, Informe Técnico de la AEMA 14/2011, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2011b, *Air pollution by ozone across Europe during summer 2010*, Informe Técnico de la AEMA No 6/2011, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2011c, *The application of models under the European Union's Air Quality Directive: A technical reference guide*, Informe Técnico de la AEMA No 10/2011, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2011d, *Laying the foundations for greener transport. TERM 2011: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe*, Informe de la AEMA No 7/2011, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2012a, *NEC Directive status report 2011*, Informe Técnico de la AEMA No 6/2012, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2012b, *Air pollution by ozone across Europe during summer 2011- Overview of exceedances of EC ozone threshold values for April–September 2011*, Informe Técnico de la AEMA No 1/2012, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2012c, *Exposure of ecosystems to acidification, eutrophication and ozone (Indicator CSI 005)*, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2012d, *Exceedance of air quality limit values in urban areas (Indicator CSI 004)*, Agencia Europea de Medio Ambiente.

AEMA, 2012e, *Particulate matter from natural sources and related reporting under the EU Air Quality Directive in 2008 and 2009*, EEA Technical report No 10/2012, Agencia Europea de Medio Ambiente.

Barrett, K., Fiala, J., de Leeuw, F., y Ward, J., 2008, *Air pollution by benzene, carbon monoxide, PAH, and heavy metals*, Documento técnico del CTE/ACC 12/2008.

CE, 2005a, *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo - Estrategia comunitaria sobre el mercurio (COM(2005) 20 final, 28.01.2005)* (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005_0020en01.pdf) acceso del 8 de julio de 2012.

CE, 2005b, *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo - Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica (COM(2005) 0446 final, 21.9.2005)* (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52005DC0446:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

CE, 2005c, *Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica* (http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28159_es.htm) acceso del 8 de julio de 2012.

CE, 2011a, *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (COM(2011) 571 final, 20.9.2011)* (http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/com2011_571.pdf) acceso del 8 de julio de 2012.

CE, 2011b, *Impact assessment – Accompanying document to the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, (SEC(2011) 288 final, 8.3.2011).*

CE, 2011c, *Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 'Energy Roadmap 2050' (COM(2011) 885/2)* (http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf) acceso del 7 de julio de 2012.

CEIP, 2012, *Officially reported emission data* (<http://www.ceip.at/webdab-emission-database/officially-reported-emission-data/>) acceso del 8 de agosto de 2012.

Colette, A., Koelemeijer, R., Mellios, G., Schucht, S., Péré, J.-C., Kouridis, C., Bessagnet, B., Eerens, H., Van Velze, K. y Rouil, L., 2012, *Co-benefits of climate and air pollution regulations The context of the European Commission Roadmap for moving to a low carbon economy in 2050*, Documento técnico CTE/ACM 2011/20.

- deLeeuw, F. y Fiala, J., 2009, *Indicators on Urban Air Quality, A review of current methodologies*, Documento técnico CTE/ACC 2009/8.
- deLeeuw, F., 2012, *AirBase: a valuable tool in air quality assessments at a European and local level*, Documento técnico CTE/ACM 2012/4.
- Dlugokencky, E. J. y Bruhwiler, L., 2009, Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden, *Geophysical Research Letters*, 36, L18803.
- EMEP, 2011, *Transboundary Particulate Matter in Europe*, Yttri, K. E. et al, Informe de situación 4/2011 del Programa de cooperación para la vigilancia continua y la evaluación del transporte a larga distancia de contaminantes atmosféricos en Europa.
- EPA, 2010, *Our Nation's Air — Status and Trends through 2008*, Informe de la EPA 454/R-09-002, Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos.
- Erisman, J.W., y Schaap, M., 2004, 'The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe', *Environmental Pollution*, (129) 159–163.
- Grice, S., Stedman, J., Kent, A., Hobson, M., Norris, J., Abbott, J., Cooke, S., 2009, 'Recent trends and projections of primary NO₂ emissions in Europe', *Atmospheric Environment*, (43) 2 154–2 167.
- Guerreiro, C., Horálek, J., de Leeuw, F., Hak, C., Nagl, C., Kurfürst, P. y Ostatnicka, J., 2010, *Status and trends of NO₂ ambient concentrations in Europe*, Documento técnico del CTE/ACC 19/2010.
- Hak, C., Larssen, S., Randall, S., Guerreiro, C., Denby, B. y Horálek, J., 2009, *Traffic and air quality contribution of traffic to urban air quality in European cities*, Documento técnico del CTE /ACC 2009/12.
- Hellén, H., Hakola, H., Haaparanta, S., Pietarila, H. y Kauhaniemi, M., 2008, 'Influence of residential wood combustion on local air quality', *Science of The Total Environment*, (393) 283–290.
- Hettelingh, J.-P., Posch, M. y Slootweg, J., 2008, *Critical Load, Dynamic Modelling and Impact Assessment in Europe*, CCE Status Report 2008 (<http://www.pbl.nl/nl/node/46905>) acceso del 8 de julio de 2012.
- IGBP/IGAC, 2012. *Time To Act: The Opportunity to Simultaneously Mitigate Air Pollution and Climate Change*. Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) y Proyecto Química Atmosférica Global Internacional (International Global Atmospheric Chemistry, IGAC), Estocolmo.
- IMO, 1973, *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)* (<http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/>)
- International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) acceso del 8 de julio de 2012.
- Mol, W. y van Hooydonk, 2012, *The European exchange of information in 2011*, Documento técnico del CTE /ACM 1/2012.
- Mol, W., van Hooydonk, P. y de Leeuw, F., 2011, *The state of the air quality in 2009 and the European exchange of monitoring information in 2010*, Documento técnico del CTE /ACM 1/2011.
- OMS, 2000, *Air quality guidelines for Europe*, Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial para la Salud, Copenhague (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf) acceso del 9 de julio de 2012.
- OMS, 2006, *Air quality guidelines — global update 2005*, Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial para la Salud, Copenhague.
- OMS, 2007, *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution, Joint WHO Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution* (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/78649/E91044.pdf) acceso del 8 de julio de 2012.
- OMS, 2008, *Air quality and health — Fact sheet no 313 — Updated August 2008* (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>) acceso del 8 de julio de 2012.
- PNUD/OMM, 2011. *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*. PNUD, Nairobi.
- Putaud, J.-P., Raes, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M.-C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hüglin, C., Laj, P., Lorbeer, G., Maenhaut, W., Mihalopoulos, N., Müller, K., Querol, H., Rodríguez S., Schneider, J., Spindler, G., ten Brink, H., Törseth, K., Wiedensohler, A., 2004, 'A European aerosol phenomenology — 2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe', *Atmospheric Environment* (38) 2 579–2 595.
- Ramanathan, V. y Carmichael, G., 2008, 'Global and regional climate changes due to black carbon', *Nature Geoscience*, 1, 221–27.
- Shindell, D., Kuylenstierna, J. C. I., Vignati, E., Van Dingenen, R., Amann, M., Klimont, Z., 2012, 'Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security', *Science*, 335, 183–189.
- Slootweg, J., Maximilian, P., Hettelingh, J., 2010, *Progress in the Modelling of Critical Thresholds and Dynamic Modelling, including Impacts on Vegetation in Europe*, Informe de situación CCE 2010. Informe No. 680359001. ISBN No. 978-90-6960-249-3.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y Miller, H.L. (eds.) 2007, *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.

UE, 1991, Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (OJ L 375, 31.12.1991, p. 1–8) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=172969:cs&lang=en&list=230526:cs,325131:cs,318816:cs,172969:cs,415518:cs,&pos=4&page=8&nbl=75&pgs=10&hwords=Directive%2091/676/EEC~>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 1994, Directiva 94/63/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) resultantes del almacenamiento y distribución de gasolina desde las terminales a las estaciones de servicio (OJ L 365, 31.12.1994, p. 24–33) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31994L0063:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 1998a, Directiva 98/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 1998 relativa a las medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones – de los vehículos de motor y por la que se modifica la Directiva 70/220/CEE del Consejo (OJ L 350, 28.12.1998, p. 1–57) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0069:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 1998b, Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 1998 relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE del Consejo (OJ L 350, 28.12.1998, p. 58–68) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=226552:cs&lang=en&list=263664:cs,267644:cs,250033:cs,256340:cs,257419:cs,237061:cs,414702:cs,226552:cs,414869:cs,501792:cs,&pos=8&page=3&nbl=30&pgs=10&hwords=Directive%2098/70/EC~>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 1999a, Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones (OJ L 85, 29.3.1999, p. 1–22) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 1999b, Directiva 1999/32/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE (OJ L 121, 11.5.1999, p. 13–18) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0032:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2000, Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de diciembre de 2000 relativa a la incineración de residuos (OJ L 332, 28.12.2000, p. 91–111) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=237066:cs&lang=en&list=237066:cs,&pos=1&page=1&nbl=1&pgs=10&hwords=2000/76/EC~>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2001a, Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2001 sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión (OJ L 309, 27.11.2001, p. 1–21) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=261603:cs&lang=en&list=496647:cs,261603:cs,&pos=2&page=1&nbl=2&pgs=10&hwords=2001/80/EC~>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2001b, Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2001 sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos (OJ L 309, 27.11.2001, p. 22–30) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=261604:cs&lang=en&list=576968:cs,573314:cs,548466:cs,489472:cs,485090:cs,471128:cs,468193:cs,405222:cs,261604:cs,414663:cs,&pos=9&page=1&nbl=11&pgs=10&hwords=Directive%202001/81/EC~>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2002, Decisión No 1600/2002/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de julio de 2002 por la que se establece el Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente (OJ L 242, 10.9.2002, p. 1–15) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002D1600:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2003, Directiva 2003/17/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de marzo de 2003 por la que se modifica la Directiva 98/70/CE relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo (OJ L 76, 22.3.2003, p. 10–19) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0017:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2004a, Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de abril de 2004 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos, por la que se modifica la Directiva 1999/13/CE (OJ L 143, 30.4.2004, p. 87–96) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=343625:cs&lang=en&list=534209:cs,485673:cs,343625:cs,&pos=3&page=1&nbl=3&pgs=10&hwords=2004/42~>) acceso del 8 de julio de 2012.

UE, 2004b, Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente (OJ L 23, 26.1.2005, p. 3–16) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=393964:cs&lang=en&list=547852:cs,393964:cs,413804:cs,497555:cs,&pos=2&page=1&nbl=4&pgs=10&hwords=DIRECTIVE%202004/107/EC~>) acceso del 8 de julio de 2012.

- UE, 2005, Directiva 2005/55/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 28 de septiembre de 2005 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de motores de encendido por compresión destinados a la propulsión de vehículos, y contra la emisión de gases contaminantes procedentes de motores de encendido por chispa alimentados con gas natural o gas licuado del petróleo destinados a la propulsión de vehículos (OJ L 275, 20.10.2005, p. 1–163) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32005L0055:EN:NOT>) acceso del 8 de julio de 2012.
- UE, 2008a, Reglamento (CE) n.º 692/2008 de la Comisión de 18 de julio de 2008 por el que se aplica y modifica el Reglamento (CE) n.º 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos (OJ L 199, 28.7.2008, p. 1–136) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=476264:cs&lang=en&list=575094:cs,476264:cs,&pos=2&page=1&nbl=2&pgs=10&hwords=692/2008->) acceso del 8 de julio de 2012.
- UE, 2008b, Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de enero de 2008 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (versión codificada) (OJ L 24, 29.1.2008, p. 8–29) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=463847:cs&lang=en&list=496647:cs,463847:cs,&pos=2&page=1&nbl=2&pgs=10&hwords=2008/1/EC->) acceso del 8 de julio de 2012.
- UE, 2008c, Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (OJ L 152, 11.6.2008, p. 1–44) (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF>) acceso del 8 de julio de 2012.
- UE, 2009a, Directiva 2009/126/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 relativa a la recuperación de vapores de gasolina de la fase II durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio (OJ L 285, 31.10.2009, p. 36–39) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=503376:cs&lang=en&list=503376:cs,&pos=1&page=1&nbl=1&pgs=10&hwords=Directive%202009/126/EC->) acceso del 8 de julio de 2012.
- UE, 2009b, Reglamento (CE) No 595/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de junio de 2009 relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) no 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE (OJ L 188, 18.7.2009, p. 1–13) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=498294:cs&lang=en&list=575592:cs,498294:cs,&pos=2&page=1&nbl=2&pgs=10&hwords=595/2009->) acceso del 8 de julio de 2012.
- UE, 2010a, Comunicado de prensa IP/10/687 (03.06.2010) (<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/10/687&format=HTML>) acceso del 4 de septiembre de 2012.
- UE, 2010b, Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (OJ L 334, 17.12.2010, p. 17–119) (<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=553885:cs&lang=en&list=572494:cs,553885:cs,571912:cs,&pos=2&page=1&nbl=3&pgs=10&hwords=Directive%202010/75/EU->) acceso del 8 de julio de 2012.
- UNECE, 1979, *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Ginebra (<http://live.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1979.CLRTAP.e.pdf>) acceso del 8 de julio de 2012.
- UNECE, 1999, *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution — Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone*, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Ginebra (http://live.unece.org/env/lrtap/multi_h1.html) acceso del 8 de julio de 2012.
- UNECE, 2004, *Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads & levels and air pollution effects, risks and trends*, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Ginebra (<http://icpmapping.org/cms/zeigeBereich/11/manual-english.html>) acceso del 8 de julio de 2012.
- UNECE, 2010a, *Hemispheric Transport of Air Pollution 2010, Part A: Ozone and Particulate Matter*, Air Pollution Studies No. 217 ECE/EB.AIR/103, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Ginebra.
- UNECE, 2010b, *Hemispheric Transport of Air Pollution 2010, Part D: Answers to Policy-Relevant Science Questions*, Air Pollution Studies No. 20. ECE/EB.AIR/103, United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.
- UNECE, 2012, *The 1999 Gothenburg Protocol to abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) agreed on a revision of the Protocol* (<http://www.unece.org/index.php?id=29858>) acceso del 8 de julio de 2012.
- vanAardenne, J., Dentener, F., van Dingenen, R., Maenhout, G., Marmer, E., Vignati, E., Russ, P., Szabo, L., y Raes, F., 2010, *Climate and air quality impacts of combined climate change and air pollution policy scenarios*, Centro Común de Investigación, Ispra.

Anexo 1 AirBase

AirBase es el sistema de bases de datos público de calidad del aire de la AEMA. Contiene los datos de vigilancia e información de calidad del aire presentados por los países participantes en toda Europa.

La base de datos de calidad del aire se compone de una serie temporal multi-anual de datos de medición de la calidad de aire y estadísticas para una serie de contaminantes. También contiene meta-información de las redes de vigilancia que participan, sus estaciones y sus mediciones.

La base de datos abarca geográficamente a todos los Estados miembros de la UE, los países miembros de la AEMA y algunos países candidatos a la adhesión a la AEMA. En virtud de la Decisión 97/101/CE, los Estados miembros de la UE están obligados a participar en un intercambio recíproco de información (Exchange of information, EoI) sobre la calidad del aire ambiente.

El número de estaciones se incrementó significativamente desde 2009 hasta 2010 para PM_{2,5}, C₆H₆ y COV en particular, a raíz de los requisitos de las Directivas sobre calidad del aire.

Table A1.1 Número de estaciones que proporcionaron datos sobre diferentes sustancias, especificadas por tipo de estación

	SO ₂	NO ₂	NO _x /NO	PM ₁₀	PM _{2,5}	Pb	CO	C ₆ H ₆	O ₃	COV	PM _{2,5} _spec	HM	PAH
Estados miembros de la UE que notificaron	27	27	26	27	27	23	27	27	27	17	5	24	23
Nº total de estaciones en 2010 de las cuales	1.897	3.155	2.333	2.817	965	644	1.265	841	2.200	459	15	744	550
• Trafico	365	994	725	837	220	151	600	343	288	193	3	155	141
• De fondo urbano	745	1 229	861	1159	506	259	410	299	1 078	126		311	261
• Industrial	510	494	402	449	96	134	189	137	277	100		144	64
• De fondo rural	265	411	343	346	136	100	63	60	519	38	12	134	84
• Otro	12	27	2	26	7		3	2	38	2			
Estados miembros no de la UE que notificaron	10	10	9	11	4	1	9	6	10	2		2	2
Nº total de estaciones en 2010 de las cuales	201	123	98	223	32	14	49	19	70	7		18	17
• Trafico	24	48	43	50	17	2	25	12	20	2		2	4
• De fondo urbano	144	43	29	140	11	5	11	5	24	4		5	7
• Industrial	20	14	13	17			11	1	7			1	
• De fondo rural	12	18	13	16	4	7	2	1	19	1		9	5
• Otro	1											1	1
Total de países que notificaron	37	37	35	38	31	24	36	33	37	19	5	26	25
Nº total de estaciones datos de 2010	2.098	3.278	2.431	3.040	997	658	1.314	860	2.270	466	15	762	567
Nº total de estaciones datos de 2009	2.184	3.268	2.354	3.015	826	675	1.355	775	2.246	408		745	545
Nº total de estaciones datos de 2008	2.280	3.233	2.418	2.842	559	624	1.348	719	2.227	296		637	484
Nº total de estaciones datos de 2007	2.013	2.629	1.906	2.357	307	431	1.069	505	1.823	211		363	212
Nº total de estaciones datos de 2006	2.165	2.870	2.095	2.423	320	247	1.209	569	2.074	218		340	112
Nº total de estaciones datos de 2005	2.236	2.753	1.937	2.289	269	257	1.251	582	2.004	155		263	49
Nº total de estaciones datos de 2004	2.008	2.435	2.146	1.884	160	139	1.076	387	1.892				
Nº total de estaciones datos de 2003	1.987	2.316		1.678	91	160	1.063	289	1.796				
Nº total de estaciones datos de 2002	1.927	2.046		1.306	42	112	914	184	1.671				
Nº total de estaciones datos de 2001	1.959	2.043		1.067	23	84	921	119	1.569				
Datos de cambio de estaciones 2009/2010	- 86	10	77	25	171	- 17	- 41	85	24	58		17	22
Porcentaje de datos de cambio de estaciones	- 4 %	0 %	3 %	1 %	21 %	- 3 %	- 3 %	11 %	1 %	14 %		2 %	4 %

Fuente: Mol y van Hooydonk, 2012.

Tabla A1.2 Número de estaciones que proporcionaron datos sobre diferentes sustancias in 2010, especificadas por país

	SO ₂	NO ₂	NO _x / NO	PM ₁₀	PM _{2.5}	Pb	CO	C ₆ H ₆	O ₃	COV	PM _{2.5} _spec	HM	PAH
Estados miembros de la UE													
Austria	101	156	136	144	15	17	44	21	114			18	26
Bélgica	62	85	85	61	38	42	22	40	41	40		47	23
Bulgaria	28	24	18	42	9	9	16	17	19	6		12	11
Chipre	2	2	2	3	5	3	1	1	2		1	3	2
República Checa	73	88	88	126	35	62	27	30	61			62	33
Dinamarca	2	13	8	8	9	7	8	3	10	3		7	2
Estonia	9	9	9	7	7	2	7	2	9			2	2
Finlandia	7	25	25	38	19		5	4	16	4			
Francia	260	476		373	88		74	24	427				
Alemania	159	553	390	451	128	125	126	143	288	116	9	201	107
Grecia	13	25	18	19	4		14	2	23	2			
Hungría	24	24	23	25	7		21	12	17	12		7	20
Irlanda	12	14	14	17	5	5	6	3	12	1		8	5
Italia	306	643	632	522	130	60	366	198	368	141		60	60
Letonia	4	5	1	8	5	3	2	4	7	2	2	3	4
Lituania	10	14	11	14	7	5	7	3	12	1		5	5
Luxemburgo	6	6	6	6	3	5	3	2	6			5	5
Malta	4	3	3	4	3	3	4	3	5	3	1	3	2
Países Bajos	20	59	44	48	30	6	22	2	37	2		8	6
Polonia	130	139	125	206	67	91	71	54	64	1		91	107
Portugal	53	61	61	59	23	1	38	13	49			2	1
Rumania	91	79	79	59	25	53	87	56	81			44	
Eslovaquia	12	15	14	32	27	5	10	10	15			5	7
Eslovenia	19	11	10	16	4	4	5	2	12	2		4	3
España	435	476	401	424	179	95	251	142	409	117		104	82
Suecia	10	32	12	39	16	4	4	7	16			4	4
Reino Unido	45	118	118	66	77	37	24	43	80	6	2	39	33
Total Estados miembros de la UE	1.897	3.155	2.333	2.817	965	644	1.265	841	2.200	459	15	744	550
Países no miembros de la UE:													
Albania	3	3		2			3	3	2				
Bosnia Herzegovina	7	4	2	1	2		2		4				
Croacia	8	8	8	7			8	2	2				
Antigua República Yugoslava de Macedonia	21	15	15	15			13		12				
Islandia	4	8	7	12	6		1	1	1	1			
Liechtenstein		1	1	1					1				
Montenegro	3	4	4	4			4		2				
Noruega	10	30	24	31	19		2	9	11			4	8
Serbia	18	17	5	3			4	1	3				
Suiza	10	33	32	30	5	14	12	3	32	6		14	9
Turquía	117			117									
Total países no de la UE	201	123	98	223	32	14	49	19	70	7		18	17
Total todos los países	2.098	3.278	2.431	3.040	997	658	1.314	860	2.270	466	15	762	567

Fuente: Mol y van Hooydonk, 2012

Tabla A1.3 Resumen de los periodos y número de estaciones que proporcionaron datos

País	Notificación de calidad del aire Comienzo/final año ^(a)	Nº de estaciones para las que se entregaron datos durante al menos un año en todo el periodo ^(a)	Nº de estaciones para las que se entregó datos de 2009 en EoI2010 ^(a)	Nº de estaciones para las que se entregó datos de 2010 en el EoI2011 ^(a)
Estados miembros de la UE-27				
Austria	1981-2010	262	193	195
Bélgica	1985-2010	380	226	243
Bulgaria	1998-2010	42	41	42
Chipre	1993-2010	9	6	6
República Checa	1992-2010	192	174	172
Dinamarca	1976-2010	42	14	15
Estonia	1997-2010	11	9	9
Finlandia	1990-2010	102	56	59
Francia	1976-2010	1.084	700	678
Alemania	1976-2010	1.235	545	660
Grecia	1983-2010	37	29	28
Hungría	1996-2010	49	32	36
Irlanda	1973-2010	106	29	28
Italia	1976-2010	1.103	707	705
Letonia	1997-2010	20	12	11
Lituania	1997-2010	25	18	18
Luxemburgo	1976-2010	14	8	8
Malta	2002-2010	8	4	5
Países Bajos	1976-2010	98	78	80
Polonia	1997-2010	521	389	274
Portugal	1986-2010	105	67	72
Rumania	1999-2010	176	107	132
Eslovaquia	1995-2010	59	37	38
Eslovenia	1996-2010	34	30	30
España	1986-2010	831	601	600
Suecia	1985-2010	83	55	57
Reino Unido	1969-2010	573	270	183
Total		7.201	4.437	4.384
Estados no miembros de la UE				
Albania	2008-2010	3	3	3
Bosnia Herzegovina	1985-2010	21	8	8
Croacia	2004-2010	8	8	8
Antigua Republica Yugoslava de Macedonia	1997-2010	46	30	24
Islandia	1993-2010	18	9	13
Liechtenstein	2004-2010	2	1	1
Montenegro	2008-2010	4	4	4
Noruega	1994-2010	62	46	49
Serbia	2002-2010	29	20	20
Suiza	1991-2010	47	32	33
Turquía	2007-2010	117	113	117
Total		357	274	280
Total UE-27 + países no miembros de la UE		7.558	4.711	4.664

Nota: ^(a) Independientemente del componente(s) medido

Fuente: Mol y van Hooydonk, 2012.

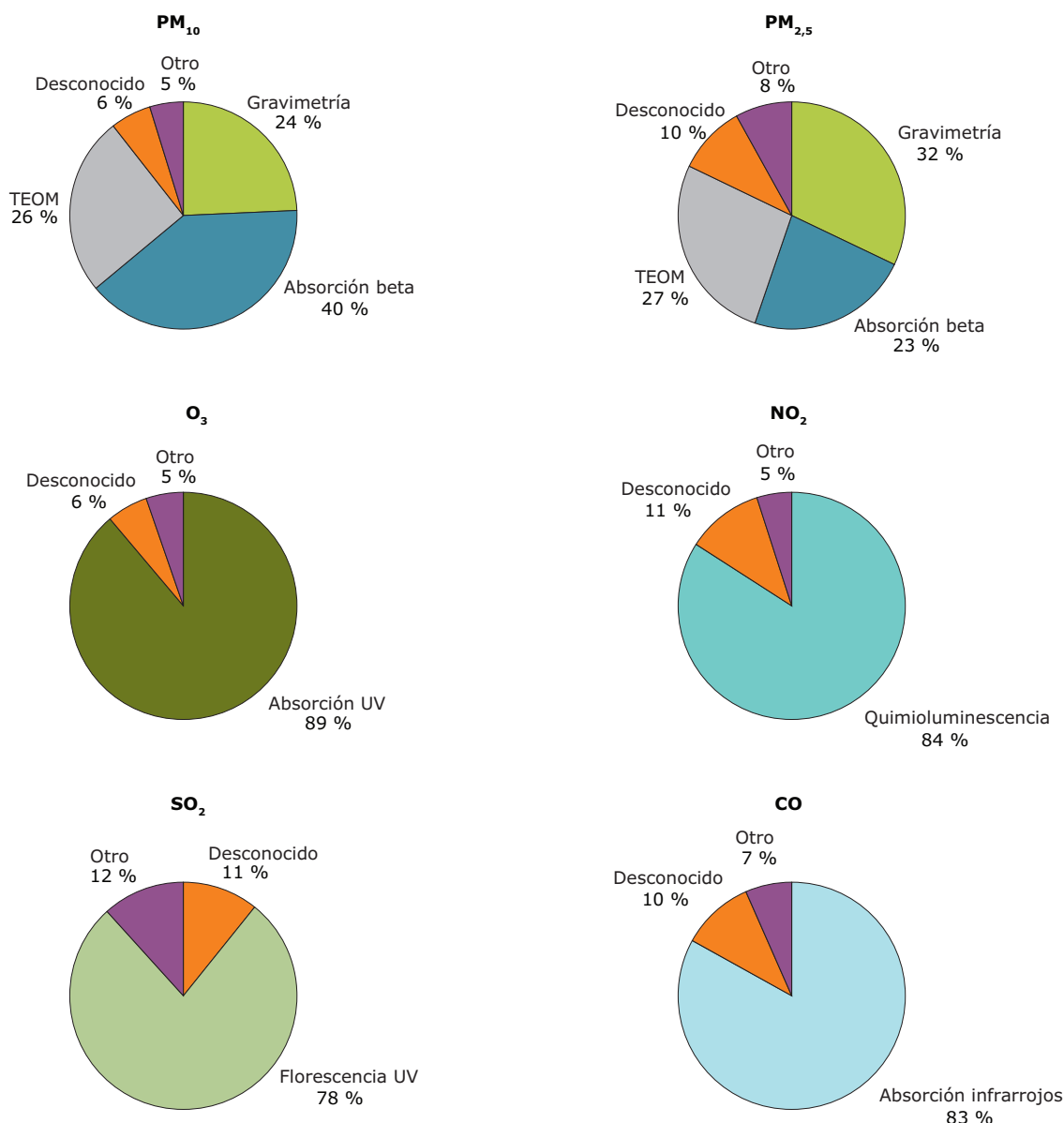
Métodos de vigilancia del aire

La Figura A1.1 muestra el uso relativo de diferentes métodos de medición y control para los diversos compuestos. La figura muestra que los métodos de referencia se utilizan en gran medida para los compuestos de O₃ (absorción de UV, 93%), NO₂ (quimioluminiscencia, 88%), SO₂ (fluorescencia UV, 89%) y CO (absorción de infrarrojos, 86%).

Para PM₁₀ y PM_{2,5} se utilizan métodos gravimétricos en el 22% y el 33% de las estaciones, respectivamente. Se asume que los métodos gravimétricos utilizados se ajustan al método de referencia establecido en la Directiva sobre calidad del aire de 2008. Los métodos

automáticos instrumentales comúnmente utilizados (TEOM) de 2008 y la "beta absorción" se utilizan ampliamente, proporcionando datos por hora, mientras que los métodos gravimétricos normalmente sólo proporcionan promedios de 24 horas. Estos métodos deben haberse comparado con el método de referencia en cada estación/tipo de zona, utilizándose un factor de corrección para los datos. Los métodos desconocidos y los métodos no informados que se hayan utilizado en cierta medida, deben especificarse y demostrar su equivalencia. Para C₆H₆ la mayoría de las estaciones no informaron del método utilizado. Los que si informaron usaron una cromatografía (gas) sin más especificaciones, o seguida de una espectroscopia de masas o una ionización de llama para su cuantificación.

Figura A1.1. Métodos de medición utilizados para PM₁₀, PM_{2,5}, O₃, NO₂, SO₂ y CO



Fuente: Mol y van Hooydonk, 2012.

Con respecto a los metales pesados (MP) y BaP, los métodos de referencia se utilizan sobre todo para su análisis. El mayor problema al comparar los resultados de diferentes estaciones es que generalmente no se conoce la fracción de la muestra de tamaños de partículas. La Directiva sobre calidad del aire de 2008 prescribe las PM₁₀.

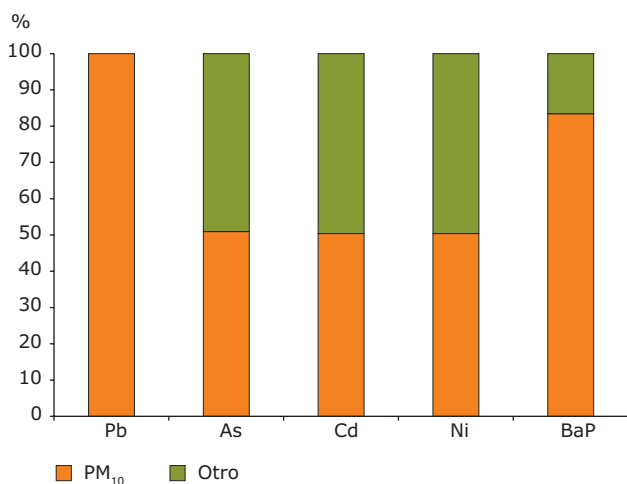
La Figura A1.2 muestra la proporción de estaciones que notificaron que los MP y BaP se determinan utilizando la muestra de PM₁₀. Para las otras estaciones se desconoce el tamaño de la fracción. Podría ser mayor o menor que diez micras.

Presentación y procesamiento de los datos de 2010

Un total de 38 países, incluidos los 27 Estados miembros de la UE, han proporcionado datos de calidad del aire para el año 2010. Se han proporcionado datos de medición de un total de 4.664 estaciones, lo que supone una pequeña disminución en comparación con el año anterior. Una de las razones es que Reino Unido ha reorganizado sus redes en AirBase, de modo que se han eliminado muchas estaciones definidas varias veces.

Se observan pequeños aumentos en un número de estaciones que informan sobre PM_{2,5} y COV (21% y 14% respectivamente). Algunos países han comenzado a notificar las concentraciones de especiación de PM_{2,5}.

Figura A1.2. Proporción (%) de estaciones de medición de MP y BaP donde la muestra utiliza la fracción de tamaño de PM₁₀ en los Estados miembros



Nota: Todas las estaciones operativas (definidas como aquellas que tienen cobertura de datos de más del 0%)

"Otro" puede incluir aerosoles (sin tamaño definido), TSP, PM_{2,5}.

Fuente: AirBase v. 6.

En la carta enviada a todos los proveedores de datos, acompañando la solicitud enviada a los Estados miembros de la UE en el año 2011 para la presentación de los datos de 2010 de calidad del aire, se solicitaba a los Estados miembros de la UE que presentaran al menos dos de los tres componentes oxidados de nitrógeno (NO₂, NO, NO_x). A pesar de esta solicitud, todavía hay una diferencia de casi 800 estaciones (de las cuales aproximadamente 500 estaciones están en Francia) entre el número de estaciones para las que se ha informado sobre el NO₂ y el número de estaciones para las que se ha notificado sobre NO (o NO_x). En AirBase los valores de NO_x se han derivado de las estaciones donde se han notificado valores de NO y NO₂ pero no valores de NO_x.

El número de estaciones para los componentes de la 4DD ha aumentado ligeramente: el número de estaciones en las que se ha notificado uno o más metales pesados de los incluidos en la 4DD, se ha incrementado un 2%, mientras que el número de estaciones donde se ha informado sobre BaP u otros HAP ha aumentado un 4%.

La calidad de la meta información, los datos de medición y la información derivada (estadísticas, casos de superación) en AirBase ha mejorado.

Casi todos los países entregaron a tiempo los datos de 2010, es decir antes del 1 de octubre de 2011. El calendario de presentación y procesamiento de los datos se muestra en la Tabla A1.4.

Acciones de retroalimentación GC/CC

Se llevaron a cabo varios procedimientos de control de calidad sobre los datos suministrados y la información ya disponible en AirBase. Los controles anuales de GC/CC (gestión de calidad/control de calidad) sobre los datos del intercambio de información entregados incluyen la revisión de los valores extremos, la falta de metadatos esenciales, la falta de datos, la posible sobre-escritura de datos ya almacenados en AirBase y la posible supresión de estaciones y configuraciones de medición con datos. Además de estas revisiones normales, también se realizan controles GC/CC en coordenadas de estaciones cuestionables y en estaciones superpuestas.

Se llevó a cabo una retroalimentación intensiva con todos los países que informaron sobre estos temas. Los comentarios reenviados a los Estados miembros resultaron en una o más actualizaciones de los 31 informes originales de intercambio de información, incluyendo:

- revalidación de datos sospechosos, originalmente notificados como válidos;

- nueva presentación de la serie temporal en la que se detectaron datos sospechosos; Se puede encontrar información más detallada sobre las respuestas de los países en Mol y van Hooydonk (2012).
- actualización de meta-información (esencial);
- presentación de series temporales que faltaban.

Tabla A1.4 Vista general del ciclo de notificación de intercambio de información (EoI) para datos de 2010

Situación desde: 31.01.2012						
País	Fecha en que los datos EoI llegaron al CTE/ACM	Carga inicial de datos a AirBase para revisión GC/CC	Fecha de envío del informe GC/CC al país	Fecha de respuesta del país al informe GC/CC	Fecha final de procesamiento de datos y estadísticas en AirBase	Comentario
Albania	22.09.2011	11.11.2011	11.11.2011		30.01.2012	
Austria *	30.08.2011	30.08.2011	01.09.2011	07.09.2011	30.01.2012	
Bosnia and Herzegovina	14.09.2011	14.09.2011	20.09.2011	02.12.2011	30.01.2012	
Bélgica *	30.09.2011	12.10.2011	02.11.2011	30.11.2011	30.01.2012	
Bulgaria *	28.09.2011	11.10.2011	02.11.2011	22.11.2011	30.01.2012	Respuesta DEM (01.12.2011)
Suiza **	15.08.2011	16.08.2011	29.08.2011	01.09.2011	30.01.2012	
Chipre *	30.09.2011	12.10.2011	02.11.2011	14.12.2011	30.01.2012	
República Checa *	30.09.2011	12.10.2011	02.11.2011	01.12.2011	30.01.2012	
Alemania *	29.09.2011	25.11.2011	01.12.2011	28.12.2011	30.01.2012	Resp. adicional final enero
Dinamarca *	30.09.2011	12.10.2011	02.11.2011	26.11.2011	30.01.2012	
Estonia *	29.09.2011	11.10.2011	02.11.2011		30.01.2012	No se espera respuesta
España *	30.09.2011	12.10.2011	02.11.2011	02.12.2011	30.01.2012	
Finlandia *	30.11.2011	12.12.2011	13.12.2011		30.01.2012	
Francia *	23.05.2011	15.08.2011	30.08.2011		30.01.2012	Recordatorio 01.12.2011
Reino Unido *	30.09.2011	17.10.2011	02.11.2011	07.12.2011	30.01.2012	
Grecia *	31.05.2011	15.08.2011	29.08.2011	13.12.2011	30.01.2012	
Croacia	29.09.2011	13.10.2011	02.11.2011	28.11.2011	30.01.2012	
Hungría *	23.09.2011	28.09.2011	16.10.2011	15.11.2011	30.01.2012	
Irlanda *	29.09.2011	11.10.2011	02.11.2011	22.11.2011	30.01.2012	
Islandia **	21.12.2011	22.12.2011	22.12.2011		30.01.2012	
Italia *	30.09.2011	13.10.2011	02.11.2011	19.12.2011	30.01.2012	
Liechtenstein **	13.09.2011	14.09.2011	19.09.2011		30.01.2012	No se espera respuesta
Lituania *	26.09.2011	30.09.2011	16.10.2011	15.11.2011	30.01.2012	
Luxemburgo *	22.09.2011	28.09.2011	16.10.2011	20.10.2011	30.01.2012	
Letonia *	27.09.2011	04.10.2011	16.10.2011	27.10.2011	30.01.2012	
Montenegro	31.10.2011	09.11.2011	11.11.2011	16.11.2011	30.01.2012	
Antigua Republica Yugoslava de Macedonia	16.09.2011	16.09.2011	19.09.2011	21.10.2011	30.01.2012	
Malta *	27.01.2012	30.01.2012	30.01.2012		30.01.2012	
Países Bajos *	27.09.2011	11.10.2011	02.11.2011	01.12.2011	30.01.2012	
Noruega **	27.06.2011	16.08.2011	30.08.2011	19.09.2011	30.01.2012	
Polonia *	28.09.2011	11.10.2011	03.11.2011	02.12.2011	30.01.2012	
Portugal *	30.09.2011	13.10.2011	03.11.2011	07.12.2011	30.01.2012	
Rumania *	30.09.2011	13.10.2011	03.11.2011	06.12.2011	30.01.2012	
Serbia	30.09.2011	13.10.2011	03.11.2011	02.12.2011	30.01.2012	
Suecia *	30.09.2011	13.10.2011	03.11.2011	01.12.2011	30.01.2012	
Eslovenia *	21.09.2011	28.09.2011	16.10.2011	08.11.2011	30.01.2012	
República Eslovaca*	29.09.2011	11.10.2011	03.11.2011	07.12.2011	30.01.2012	
Turquía **	03.10.2011	14.10.2011	03.11.2011	01.12.2011	30.01.2012	

Nota: * Estado miembro
** País no de la UE, país de la AEMA-32

Fuente: http://acm.eionet.europa.eu/country_tools/aa/eoi_to_airbase_status/index_html.

Anexo 2 Políticas y medidas europeas sobre emisiones de contaminantes atmosféricos

Antecedentes

Durante el período abordado en este informe, 2001-2010, las políticas y medidas ambientales a nivel europeo han influido en el desarrollo de las emisiones de contaminantes atmosféricos y en la contaminación atmosférica.

La UE ha desarrollado una serie de seis Programas de acción en materia de Medio Ambiente (PAMA) ⁽²⁶⁾, a partir de 1973. El 5º (1993-2000) y 6º PAMA (2002-2012) son los más relevantes para el período aquí tratado. El 5º PAMA, bajo el lema de “contaminación atmosférica” se concentraba en la acidificación y calidad del aire, con especial atención a:

- una estrategia para asegurar que las cargas críticas de la acidificación, la eutrofización y la contaminación fotoquímica atmosférica no se superaran;
- el establecimiento o modificación de los objetivos de calidad del aire para contaminantes específicos;
- el desarrollo de procedimientos comunes para la evaluación y vigilancia de la calidad del aire.

El 6º PAMA, bajo el tema de “medio ambiente y salud y calidad de vida”, en particular, su Artículo 7(f) sobre la calidad del aire, establece que: “el desarrollo y la aplicación de las medidas previstas en el Artículo 5 en los sectores del transporte, la industria y la energía deben ser compatibles con y contribuir a la mejora de la calidad de aire”. Otras medidas previstas son:

- mejorar el seguimiento y la evaluación de la calidad del aire, incluyendo la deposición de contaminantes, y el suministro de información al público, incluyendo el desarrollo y uso de indicadores;
- una estrategia temática para reforzar una política coherente e integrada en materia de contaminación atmosférica para cubrir las prioridades para ulteriores actuaciones, la revisión y actualización

en su caso de las normas de calidad del aire y los techos de emisión nacionales, con miras a alcanzar el objetivo a largo plazo de no superar las cargas y niveles críticos, y el desarrollo de mejores sistemas de recogida de información, modelización y previsión;

- adoptar medidas adecuadas sobre el O₃ troposférico y las partículas;
- estudiar la calidad del aire interior y los impactos sobre la salud, con recomendaciones sobre futuras medidas, en su caso.

Así, el 5º y 6º PAMA sentaron las bases para el desarrollo de políticas y directrices específicas para el control de la contaminación atmosférica y la mejora de la calidad del aire en las dos últimas décadas.

Durante la década de 1990, la UE elaboró y aprobó una serie de directrices sobre la gestión y evaluación de la calidad del aire ⁽²⁷⁾, estableciendo, por ejemplo, los valores límite y objetivo de la calidad del aire y los métodos para vigilar y evaluar la calidad del aire. Estas directivas han allanado el camino para el intercambio eficaz de los datos sobre calidad del aire y redes de estaciones, que ha permitido la visión general de la calidad del aire europeo que se presenta en este informe.

El establecimiento de valores límite y objetivo de calidad del aire relacionados con la salud especificados en las Directivas de calidad del aire se beneficiaron de los trabajos y estudios realizados en el marco del Programa Aire Puro para Europa (CAFE) ⁽²⁸⁾, en cooperación con la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre los efectos de los contaminantes del aire en la salud.

El 6º PAMA especifica que la Comisión debería desarrollar estrategias temáticas sobre una serie de temas, incluyendo la contaminación atmosférica. La Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica ⁽²⁹⁾ se formuló como el resultado final del programa CAFE. Tiene en cuenta la compleja

⁽²⁶⁾ <http://ec.europa.eu/environment/archives/env-act5/envirpr.htm>.

⁽²⁷⁾ http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/existing_leg.htm.

⁽²⁸⁾ <http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/general/keydocs.htm>.

⁽²⁹⁾ http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/pdf/strat_com_en.pdf.

interacción entre los contaminantes, los impactos y los receptores de contaminantes (los seres humanos y la naturaleza). Considera las PM en el aire, la acidificación, la eutrofización y el O₃ troposférico y los impactos sobre la salud humana, la naturaleza y la biodiversidad, los materiales y los cultivos. La Estrategia establece metas para la reducción de los impactos sobre la salud humana y el medio natural en 2020.

Políticas europeas y medidas europeas actuales

En el contexto de este informe, el interés se centra en las políticas y medidas que han afectado a los cambios, es decir, mejoras en la calidad del aire y en la situación de impacto durante el período de este resumen.

Visión general de las directivas

Reglamentos sobre las emisiones del sector del tráfico por carretera

Las normas establecidas en Europa se han utilizado para limitar las emisiones de los vehículos de motor desde 1970, a través de los llamados reglamentos de la CEPE R15/01-15/04 para coches de gasolina de pasajeros. Desde 1992, la regulación de las emisiones continuó bajo las denominadas normas sobre emisiones Euro 1-6 para vehículos ligeros (gasolina y motor diésel) y la normativa Euro I-VI para motores diésel de gran potencia de camiones y autobuses.

Directiva sobre la recuperación de vapores de gasolina⁽³⁰⁾

La **Directiva sobre la Fase I de recuperación de vapores de gasolina** (1994/63/CE) tiene como objeto evitar las emisiones atmosféricas de COV durante el almacenamiento de gasolina en las terminales y posterior distribución a las estaciones de servicio. Entró en vigor el 20 de diciembre de 1994. La Directiva contiene medidas que las terminales deben emplear como techos flotantes y revestimientos reflectantes para reducir las pérdidas por evaporación de los tanques de almacenamiento. Además, cuando la gasolina se carga en cisternas y se transporta a las estaciones de servicio, la Directiva se asegura de que se recuperan y devuelvan los vapores a la cisterna o terminal. La aplicación es obligatoria desde el 31 de diciembre de 1995 para

las nuevas estaciones de servicio y con un retraso de tres, seis o nueve años, dependiendo del tamaño de las estaciones de servicio existentes, con espacios de tiempo más cortos para las grandes estaciones. Esto significa que la Directiva ha influido en las emisiones de COV desde 2000.

La **Directiva sobre la Fase II de recuperación de vapores de gasolina** (2009/126/CE) tiene por objeto garantizar la recuperación de los vapores de gasolina que de otro modo se emitirían a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos en las estaciones de servicio. Los Estados miembros tienen hasta el 31 de diciembre de 2011 para transponer la Directiva a la legislación nacional.

El nivel mínimo de recuperación de los sistemas empleados debe ser el 85%. Las nuevas estaciones de servicio deben cumplir la Directiva desde 2012, mientras que las estaciones existentes tienen un plazo más largo. Todas las estaciones con un caudal superior a 3.000 m³ anuales deben cumplirla a finales de 2018 a más tardar. La Directiva aún no ha tenido un efecto sobre las emisiones de COV en Europa.

Directivas sobre la calidad del combustible

La **Directiva sobre el contenido de azufre de los combustibles líquidos**, 1999/32/CE⁽³¹⁾ regula el S en los fuelóleos, estableciéndose los siguientes límites para S:

- En fuelóleo pesado, el contenido máximo de S es de 1% en peso, que se aplicará a partir del 1 de enero de 2003. Se prevén excepciones para las instalaciones que se encuentren bajo la Directiva IPPC que requieren tecnología de reducción de emisiones.
- En el gasóleo el contenido máximo de S es:
 - 0,20% en peso, a ser ejecutado para julio 2000. Se prevén excepciones para determinadas vías externas;
 - 0,10% en peso, que se aplicará a partir del 1 de enero de 2008.

La **Directiva sobre calidad de los combustibles** (2003/17/CE)⁽³²⁾, que modifica la Directiva de combustibles anterior (98/70/CE) regula el contenido de S, Pb y C₆H₆ en los carburantes para motores, así como otros parámetros de calidad del carburante. Los límites establecidos en esta Directiva son los siguientes:

⁽³⁰⁾ <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/petrol.htm>.

⁽³¹⁾ <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/sulphur.htm>.

⁽³²⁾ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:076:0010:0019:EN:PDF>.

- para S, 10 mg/kg para la gasolina y el diésel a partir del 1 enero de 2009;
- para Pb en la gasolina, 0,005 g/l (en la práctica, la gasolina sin plomo);
- para el C₆H₆ en la gasolina, 1% v/v;
- para HAP en el combustible diésel, el 11% m/m.

Desde el 1 de enero de 2002, toda la gasolina vendida en la UE es sin plomo. Entre el 1 de enero de 2005 y el 1 de enero 2009 el límite en el contenido de S de la gasolina y el diésel era de 50 mg/kg.

Regulación de las emisiones industriales

La **Directiva 2010/75/UE** tiene por objeto refundir las siete directivas existentes relacionadas con las emisiones industriales en un único instrumento legislativo claro y coherente. Esto incluye la Directiva IPPC, la Directiva GIC, la Directiva de incineración de residuos, la Directiva sobre disolventes de emisiones y tres directivas sobre el dióxido de titanio. La Comisión propuso reforzar los valores límites mínimos de emisión para determinados sectores industriales, especialmente para grandes instalaciones de combustión donde se estima insuficiente el progreso para reducir la contaminación.

Los instrumentos jurídicos antes mencionados se describen brevemente a continuación:

La Directiva sobre disolventes ⁽³³⁾ (1999/13/CE) regula el uso de disolventes y establece límites a las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. El objetivo expreso de la Directiva es limitar la formación de O₃ en aire. La lista de actividades y usos de disolventes regulados por la Directiva incluye el recubrimiento con adhesivos y otras actividades de revestimiento, limpieza en seco, la fabricación de barnices, adhesivos, tintas, productos farmacéuticos, impresión, limpieza de superficies, renovación del acabado de vehículos, impregnación de madera y otros. La Directiva establece los valores límite de emisión para los gases residuales o por volumen de producto, y requiere un plan de gestión de disolventes para cada actividad. La fecha de cumplimiento general para las instalaciones existentes

es el 31 de octubre de 2007, mientras que las nuevas instalaciones se ajustarán al comenzar sus operaciones.

La **Directiva sobre la incineración de residuos** (2000/76/CE) ⁽³⁴⁾ derogó las directivas anteriores sobre la incineración de residuos peligrosos (Directiva 94/67/CE) y los residuos domésticos (Directivas 89/369/CEE y 89/429/CEE) y se sustituye con un solo texto. El objetivo de la Directiva sobre incineración de residuos es prevenir o reducir en la medida de lo posible los efectos negativos sobre el medio ambiente causados por la incineración y coincineración de residuos. En particular, se debería reducir la contaminación causada por las emisiones a la atmósfera, al suelo y a las aguas superficiales y subterráneas, y así disminuir los riesgos que éstas representan para la salud humana. Debe lograrse a través de la aplicación de las condiciones de explotación, requisitos técnicos y valores límite de emisión para la incineración y las instalaciones de coincineración en la UE.

La **Directiva sobre incineración de residuos** establece valores límite de emisión y requisitos de control de contaminantes a la atmósfera, como el polvo, NO_x, SO₂, cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF), metales pesados, dioxinas y furanos. Para los metales pesados, los límites de emisión se establecen por grupos de PM: Cd + Tl, Hg, Sb + As + Pb + Cr + Co + Mn + Ni + V.

La mayoría de las plantas de incineración de residuos entran en el ámbito de la Directiva sobre incineración de residuos, con algunas excepciones, como las de biomasa (por ejemplo residuos vegetales de origen agrícola y forestal).

La Directiva sobre incineración de residuos establece una distinción entre:

- las instalaciones de incineración, que se dedican al tratamiento térmico de residuos y pueden o no recuperar el calor generado por la combustión;
- instalaciones de coincineración, como el cemento o los hornos de cal, acerías o las centrales eléctricas, cuya finalidad principal es la generación de energía o la fabricación de productos materiales y en el que se utilicen residuos como combustible o que los residuos reciban tratamiento térmico para su eliminación.

⁽³³⁾ <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/solvents.htm>.

⁽³⁴⁾ <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/wid.htm>.

⁽³⁵⁾ <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/lcp.htm>.

⁽³⁶⁾ Under the LCP Directive, EU Member States have certain opt-out provisions (Article 4(4)) and may define and implement national emission reduction plans (NERPs) (Article 4(6)).

La fecha para su cumplimiento por las instalaciones existentes fue el 28 de diciembre de 2005.

La **Directiva sobre grandes instalaciones de combustión** (GIC) ⁽³⁵⁾ (2001/80/CE) regula las emisiones de contaminantes acidificantes, PM y O₃ (por ejemplo, SO₂, NO_x y PM ('polvo')) de grandes instalaciones de combustión para la producción de energía de calor final. La Directiva establece los valores límite de emisión (VLE) ⁽³⁶⁾ para el SO₂, NO_x y partículas (partículas suspendidas totales, TSP), que varían según la edad de la planta, el combustible utilizado y la capacidad de la planta (véase el informe técnico de la AEMA n° 8/2010).

En cuanto a los plazos de aplicación, la Directiva GIC contiene las siguientes disposiciones:

- las instalaciones autorizadas, después del 27 de noviembre 2002 tendrán que cumplir con los valores límite (más estrictos) de las emisiones de SO₂, NO_x y partículas fijados en la parte B de los Anexos III a VII de la Directiva;
- las instalaciones autorizadas después del 1 de julio de 1987 y antes del 27 de noviembre de 2002, tienen que cumplir con los valores límite de emisión (menos estricta) fijados en la parte A de los Anexos III a VII de la Directiva GIC;
- se requieren reducciones significativas de emisiones de las "instalaciones existentes" (con licencia anterior al 1 de julio de 1987) que deben alcanzarse antes del 1 de enero de 2008, ya sea:
 - mediante el cumplimiento individual de los valores límite de emisión establecidos para las nuevas instalaciones contempladas en el punto 2 anterior (1987-2002), o
 - a través de un Plan Nacional de reducción de emisiones (NERP) que logre reducciones globales calculadas usando los valores límite de emisión.

La **Directiva sobre pinturas** ⁽³⁷⁾ (2004/42/CE) establece valores límite para el contenido máximo de COV de las pinturas decorativas y productos de renovación del acabado de vehículos, para limitar las emisiones de COV, modificando también la Directiva sobre disolventes en referencia a los productos de acabado de vehículos. Consta de dos fases para la aplicación de límites más estrictos sobre el contenido de COV en los productos, la Fase I a aplicar a partir del 1 de enero de 2007 y la Fase II a partir del 1 de enero de 2010.

La **Directiva original de Prevención y Control Integrados de la Contaminación** (IPPC) fue adoptada el 24 de septiembre de 1996, y desde entonces se ha modificado cuatro veces. Básicamente regula todas las plantas industriales, incluyendo la producción de energía, la producción de metales, industrias minerales, industrias químicas, gestión de residuos y otros sectores. Los contaminantes atmosféricos que aborda son SO₂, NO_x, CO, COV, metales, polvo, amianto, Cl, F, As, cianuros y otros compuestos cancerígenos y mutagénicos y algunas dioxinas específicas. Las instalaciones nuevas y existentes que sean objeto de "cambios sustanciales" están obligadas a cumplir con los requisitos de la Directiva IPPC desde el 30 de octubre de 1999. Otras instalaciones existentes tuvieron que adecuarse antes del 30 de octubre de 2007. Esta fue la fecha límite clave para la plena aplicación de la Directiva.

En la Directiva, el concepto de "mejores técnicas disponibles" (MTD) juega un papel central. En este contexto:

- "técnicas" incluye tanto la tecnología utilizada como el modo en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, operada y desmantelada;
- técnicas "disponibles" son aquellas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro de la UE correspondiente como si no, y siempre que sea razonablemente accesibles para el operador;
- "mejor" significa más eficaz para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Los operadores de instalaciones industriales relevantes deben aplicar las MTD para prevenir y controlar la contaminación. Las autoridades también están obligadas a establecer un sistema de concesión de permisos integrados que conduzcan a la aplicación de las MTD en las plantas nuevas y existentes.

Las conclusiones en cuanto a lo que se consideran como MTD a nivel de la UE para las actividades cubiertas por la Directiva figuran en los documentos de referencia de las MTD (BREF), que se desarrollan bajo la coordinación de la Comisión Europea (Oficina Europea del IPPC, Centro Común de Investigación), a través de un intercambio de información por parte de los grupos de expertos compuesto por representantes de

⁽³⁷⁾ http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/paints_legis.htm.

los Estados miembros de la UE, la industria, las ONG y otras partes interesadas.

La definición de instalaciones industriales de combustión utilizada en este estudio va más allá de la de GIC de los BREF. Los BREF de GIC abarcan, en general, las instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 50 MW. Esto incluye la industria de generación de energía y las industrias donde se utilizan combustibles “convencionales” (comercialmente disponibles y específicos) y donde las unidades de combustión no están incluidas en otros BREF sectoriales. En este contexto, las instalaciones industriales de combustión comprenden plantas de energía, refinerías y las del sector manufacturero, con independencia de su capacidad.

Directiva relativa a las emisiones totales nacionales

La **Directiva sobre techos nacionales de emisión** (Directiva 2001/81/CE)⁽³⁸⁾, adoptada el 23 de octubre de 2001, establece los límites máximos para cada Estado miembro de las emisiones totales en 2010 de los cuatro principales contaminantes responsables de la acidificación, la eutrofización y el nivel de contaminación de O₃ (SO₂, NO_x, COV y NH₃). Se deja en gran medida a los Estados miembros de la UE decidir qué medidas tomar - además de la legislación comunitaria para determinadas categorías de fuentes - con el fin de cumplirlas.

Directiva relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura

La **Directiva 91/676/CEE del Consejo relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos** utilizados en la agricultura tiene el objeto de establecer para todas las aguas un nivel general de protección contra la contaminación. Los Estados miembros deberán:

- establecer un código o códigos de buenas prácticas agrarias que podrán poner en práctica los agricultores de forma voluntaria;
- establecer un programa cuando sea necesario, incluida la provisión de formación e información de los agricultores, promoviendo la aplicación del código(s) de buenas prácticas agrícolas.

Además hay un requisito para el establecimiento de planes de fertilizantes en base a explotaciones y el mantenimiento de registros sobre el uso de fertilizantes.

Convenio LRTAP

El transporte a gran distancia de la contaminación del aire es un factor importante que afecta a los ecosistemas y a la población humana. El Convenio sobre Contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia (CLRTAP) de la Comisión Económica para Europa (CEPE) tiene como objetivo reducir y prevenir la contaminación atmosférica. Además de la legislación de la UE mencionada anteriormente, el Convenio LRTAP cuenta con una serie de protocolos jurídicamente vinculantes, que abarcan las categorías específicas de contaminantes atmosféricos. El Convenio fue ratificado por la Comunidad Europea en 1982. El artículo 2 del Convenio establece que “las Partes Contratantes, teniendo debidamente en cuenta los hechos y problemas de que se trata, están decididas a proteger al hombre y su medio ambiente contra la contaminación atmosférica y se esforzarán por limitar y, en la medida de lo posible, reducir gradualmente e impedir la contaminación atmosférica, incluida la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia”.

El Convenio ha establecido un proceso de negociación de medidas concretas para el control de contaminantes específicos a través de Protocolos jurídicamente vinculantes. Desde 1984, han entrado en vigor ocho Protocolos. El más reciente, el Protocolo 1999 para reducir la acidificación, la eutrofización y el ozono a nivel del suelo, entró en vigor el 17 de mayo de 2005.

En 2012, se pidió a las Partes que notificaran los datos de las emisiones de NO_x, COVNM, SO_x, NH₃, CO, metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes y PM de 2010, y también los datos de las actividades asociadas. La información fue copiada por los Estados miembros a la base central de datos de Reportnet de Eionet de la AEMA.

⁽³⁸⁾ <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/ceilings.htm>.